

Nuestro objetivo es **facilitar la conservación y la regeneración de los suelos degradados.**

VERCOCHAR es un proyecto Interreg MAC cuyo objetivo es mejorar la respuesta de las poblaciones y ecosistemas ante los efectos del cambio climático a través de la puesta en marcha de acciones de mitigación.



www.vercochar.com



Gestión del suelo

Guía de campo y manual técnico



www.vercochar.com

Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA)

Estación de Investigación Hortícola de Santa Lucía de Tirajana.
Lugar Finca San Antonio nº 3/ 35110 Vecindario/
Gran Canaria / Islas Canarias / España

Tlf.: +34 928 899637

Web: <https://www.icia.es/icia/>

<https://www.vercochar.com/>

Correo: vercochar@icia.es

Índice

Guía de campo

1. Indicadores de la materia orgánica	3
1.1. Color del suelo	3
1.2. Estimación de la presencia de materia orgánica (MO)	4
2. Indicadores del riesgo de erosión	8
2.1. Cobertura y compactación del suelo	8
2.2. Presencia de regueros y cárcavas	10
3. Indicadores de la capacidad de infiltración	14
3.1. Porosidad	14
3.2. Estructura	14
3.3. Textura	16
3.4. Velocidad de infiltración	18
3.5. Profundidad efectiva de las raíces	20
3.6. Presencia de suela de labor	21
3.7. Cobertura y compactación del suelo	22
4. Indicadores biológicos	27
4.1. Lombrices (nº de lombrices/m ²)	27
5. Indicadores de salinidad y sodicidad	29

Manual técnico

1. Introducción a la conservación del suelo	31
1.1. Concepto e importancia del suelo	32
1.2. Concepto de calidad del suelo e indicadores	34
1.3. Degradación del suelo y sus causas	36
2. Evaluación y diagnóstico del suelo	41
2.1. Guía para la toma de muestras	42
2.2. Evaluación mediante métodos directos o sencillos	46
2.2.1. Indicadores físicos	47
2.2.2. Indicadores químicos	52
2.2.3. Indicadores biológicos	60
2.2.4. Indicadores de productividad en los cultivos	64
2.3. Evaluación mediante métodos analíticos	66
2.3.1. Indicadores de suelo que se determinan específicamente en laboratorio	66
2.4. Evaluación mediante análisis de imagen	68
3. Prácticas de manejo para la sostenibilidad de los suelos	71
3.1. Prácticas sostenibles de manejo de cultivos	72
3.1.1. Laboreo	72
3.1.2. Enmiendas orgánicas	74
3.1.3. Abonos verdes	77

3.1.4. Cubiertas vegetales	79
3.1.5. Rotación de cultivos	80
3.1.6. Barreras vivas	81
3.2. Prácticas sostenibles en función del tipo de suelo	82
3.2.1. Suelos salinos, sódicos y salino-sódicos	82
3.2.2. Suelos áridos	88
3.2.3. Suelos en pendiente	92

Revisión bibliográfica

1. Revisión bibliográfica	97
---------------------------------	----



Rellena los datos online escaneando el QR con tu móvil o entrando en el siguiente enlace:
<https://forms.gle/e9yWCniqMcQn5UEe8>

Guía de campo

(Basada en "Visual Soil Assessment – Field guide for annual crops." de Shepherd, T. G., Stagnari, F., Pisante, M. y Benites, J. (2008)).

Para conocer la calidad de nuestro suelo se deben evaluar todos los parámetros, o aquellos de interés (en función de nuestro suelo) y rellenar la tabla de cada indicador, teniendo en cuenta que a cada uno le corresponde una calificación visual (CV) de acuerdo a una escala numérica (2 = bueno; 1 = moderado; 0 = pobre).

La asignación de estos valores a cada indicador, dependerá de la calidad del suelo observada en la muestra tomada en cada parcela comparada con el suelo de las fotografías mostradas en esta guía de campo o con los valores indicados en las tablas correspondientes a cada parámetro medido. La evaluación es flexible, de manera que si la muestra que se está evaluando no coincide con ninguna de las fotos, pero tiene similitud con alguna, puede asignarse una puntuación intermedia.

El valor final obtenido tras la evaluación de los parámetros de interés nos permite conocer qué cualidades del suelo constituyen una limitación productiva y planificar las acciones correctivas o paliativas para mejorarlo (dichas acciones correctivas pueden encontrarse descritas en el punto 3 del Manual de Manejo de Suelos).

Toma de muestras. Aspectos a tener en cuenta:

- El suelo debe estar en tempero (sin exceso de humedad ni extremadamente seco).
- Seleccionar un mínimo de 3 muestras en zonas representativas de la parcela. Cuanto mayor sea la variabilidad del suelo mayor será el número de medidas necesarias para conseguir un valor representativo de la parcela.
- Anotar información relevante de la parcela: localización, aspectos a destacar o información crucial para ubicar la zona de muestreo,

historial de su manejo (usos, método de riego y fertilización, etc.), pendiente de la zona del muestreo, información climática, eventos climáticos recientes a destacar, etc.

- Los muestreos se pueden realizar en distintas épocas (primavera y otoño), y en varios años para poder comparar los resultados, ver la evolución de los parámetros y si ha habido influencia de factores ambientales o de las prácticas agrícolas. Si se decide hacer una vez al año se debe de elegir la época con clima más estable, sin condiciones extremas (preferentemente primavera) y en la que el suelo no ha sido alterado, como por ejemplo, después de la cosecha o cerca del final del cultivo.

1. Indicadores de la materia orgánica

La evaluación de los siguientes parámetros puede dar una idea general del contenido en materia orgánica bajo un determinado manejo del suelo.

1.1. Color del suelo

Para determinar el color del suelo, se debe:

1. Tomar un trozo de tierra del sitio de estudio.
2. Tomar un trozo de tierra del suelo de referencia. Se considera suelo de referencia al procedente de una zona protegida o no alterada, cercana.
3. Comparar el cambio de color de ambos trozos. Compare los resultados con la tabla inferior.

Calificador visual	Tipo de color	Descripción
2 (Bueno)	Suelo oscuro que se parece al del suelo tomado en el lugar protegido.	Denota altos niveles de materia orgánica (> 5%).
1 (Moderado)	El color es un poco más pálido que el del suelo de referencia.	Suelo con un nivel medio de materia orgánica (2-5%).
0 (Pobre)	El color es significativamente más pálido que el del suelo de referencia.	Suelo con muy bajo contenido en materia orgánica (< 0,5%).

1.2. Estimación de la presencia de materia orgánica (MO)

La presencia de materia orgánica se puede evaluar tomando una pequeña cantidad de suelo con un recipiente (bolsa, vaso, etc.). La técnica consiste en:

1. Añadir suficiente cantidad de agua oxigenada para humedecer la muestra.
2. Observar la emisión, o no de burbujas. Compara los resultados con la tabla inferior.

Calificador visual	Tipo de efervescencia	Descripción
2 (Bueno)	Alta	Suelo con alto contenido en materia orgánica, mayor al 5%.
1 (Moderado)	Media	Suelo con una concentración intermedia de materia orgánica, entre 2 y 5%.
0 (Pobre)	Baja o nula	Suelo con bajo contenido en materia orgánica, menor al 0,5%.

Los niveles adecuados de materia orgánica se encuentran entre 1-1,5% para cultivos de secano y entre 1,5 y 3,2% para cultivos en regadío. Niveles de MO por debajo del 0,5% se consideran valores muy bajos para el correcto desarrollo de los cultivos.

Una vez evaluados ambos indicadores rellene la tabla siguiente con el valor obtenido en cada muestra para ambas pruebas.

Muestra 1

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)	Valor
Color del suelo		
Presencia de MO		
Suma de valores		

Muestra 2

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)	Valor
Color del suelo		
Presencia de MO		
Suma de valores		

Muestra 3

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)	Valor
Color del suelo		
Presencia de MO		
Suma de valores		

Compare el valor final obtenido, al hacer la suma de ambos valores en cada muestra y obtener la media, con el valor de la tabla inferior.

Tabla de referencia

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)
Buena	> 2
Moderada	2
Pobre	< 2

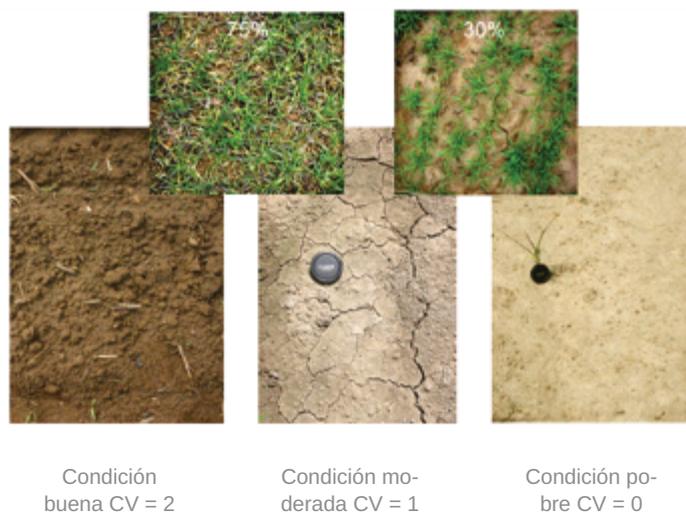
En función del índice de calidad del suelo obtenido y del deseado para la parcela, llevar a cabo las prácticas necesarias, como por ejemplo, aplicación de enmiendas orgánicas, uso de abonos verdes, etc.

2. Indicadores del riesgo de erosión

La medida del riesgo de erosión de una parcela se hace a través de diferentes indicadores como son: la cobertura, la compactación y la presencia de regueros y cárcavas.

2.1. Cobertura y compactación del suelo

1. Hacer un cuadrado de 1x1 m en un lugar representativo. La distancia se puede medir en pasos.
2. Evaluar el grado de la costra superficial y la cobertura superficial comparándolas con las fotografías que se ponen abajo. La costra superficial se evalúa mejor después de que a un período húmedo le siga un período seco.



Calificador visual	Descripción
2 (Bueno)	No se aprecia compactación ni costra superficial, o la cobertura vegetal superficial es mayor al 70%.
1 (Moderado)	Algunos síntomas de compactación o costra superficial. La costra superficial presenta un espesor de 2-3 mm, agrietado de forma significativa, o la cobertura superficial está entre el 30-70%.
0 (Pobre)	El suelo está compactado o con costra superficial. La costra superficial presenta un espesor > 5 mm, es casi continua con pequeñas grietas; o la cobertura superficial es igual o menor al 30%.

2.2. Presencia de regueros y cárcavas

La evaluación de este indicador se hace observando varios parámetros como:

1. La erosión hídrica, para ello se observa si hay erosión laminar y por consiguiente formación de regueros y cárcavas.
2. La erosión eólica, se debe observar la presencia de nubes de polvo al soplar el viento.
3. Comparar los resultados obtenidos de estas observaciones con la tabla inferior.

Calificador visual	Descripción
2 (Bueno)	<p>Poca o ninguna erosión hídrica: no existen regueros ni cárcavas.</p> <p>La profundidad del suelo en la zona alta de terrenos en pendiente, tiene una diferencia de menos de 15 cm con la profundidad en la zona baja de la parcela.</p> <p>La erosión eólica no es un problema: solo se levantan algunas partículas de polvo pequeñas cuando se hacen labores en días ventosos. El viento mueve el material pero queda dentro del campo.</p>
1 (Moderado)	<p>La erosión hídrica es moderada, presentándose algunos regueros o cárcavas.</p> <p>Diferencia moderada en la profundidad del suelo (15-30 cm) entre la zona alta y baja de suelos en pendiente.</p> <p>La erosión eólica es moderada, siendo significativa sólo en días de mucho viento, donde las partículas de polvo que se levantan al hacer las labores pueden ser transportadas.</p>
0 (Pobre)	<p>El suelo está compactado o con costra superficial. La costra superficial presenta un espesor > 5 mm, es casi continua con pequeñas grietas; o la cobertura superficial es igual o menor al 30%.</p>

Una vez evaluados ambos indicadores rellene la tabla siguiente con el valor obtenido en cada muestra para ambas pruebas.

Muestra 1

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)	Valor
Cobertura y compactación		
Presencia regueros y cárcavas		
Suma de valores		

Muestra 2

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)	Valor
Cobertura y compactación		
Presencia regueros y cárcavas		
Suma de valores		

Muestra 3

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)	Valor
Cobertura y compactación		
Presencia regueros y cárcavas		
Suma de valores		

Compare el valor final obtenido, al hacer la suma de ambos valores en cada muestra y obtener la media, con el valor de la tabla inferior.

Tabla de referencia

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)
Bueno	> 2
Moderado	2
Pobre	< 2

En función del índice de calidad del suelo obtenido y del deseado para la parcela, llevar a cabo las prácticas necesarias, como por ejemplo, establecer cubiertas vegetales.

3. Indicadores de la capacidad de infiltración

3.1. Porosidad

1. Con la pala, sacar una rodaja de tierra o tomar varios terrones.
2. Examinar la porosidad de la muestra.
3. Evaluar la porosidad del suelo según el criterio dado en la tabla siguiente.

Calificador visual	Descripción
2 (Bueno)	Los terrones o agregados del suelo se presentan con muchos macroporos dentro y entre los agregados, y pocos microporos, lo que se asocia con una buena estructura del suelo.
1 (Moderado)	La presencia de microporos y macroporos, dentro y entre los terrones, ha disminuido significativamente, pero aún se observan al mirar de cerca los agregados consolidados.
0 (Pobre)	Los terrones no presentan macroporos y predominan los microporos dentro del terrón, la superficie se observa lisa, masiva y con aristas o ángulos afilados al romperse.

3.2. Estructura

Su evaluación se basa en el tamaño, forma, porosidad y abundancia relativa de los agregados del suelo y de los terrones y se realiza mediante su fragmentación.

1. Tomar una muestra del suelo (un terrón o un agregado grande, se puede usar el mismo que el de la evaluación de la porosidad) y dejarla caer un máximo de tres veces desde un metro de altura hacia una base firme (por ejemplo, el fondo de un cubo de plástico).
2. Si los terrones grandes se separan después de la primera o segunda caída, dejarlos caer individualmente de nuevo una vez o dos veces. Si un terrón se estrella y fragmenta en pequeños agregados en la primera o segunda caída, no es necesario hacerlo de nuevo.
3. Partir cada terrón a mano a través de cualquier fractura o hendidura.
4. Transferir la tierra hacia una bolsa de plástico grande. Mover los fragmentos más grandes al extremo superior y los más finos al extremo inferior. Esto proporciona una medida de la distribución y tamaño de los agregados.
5. Comparar la distribución resultante de los agregados con las tres fotografías y la tabla de la siguiente página.



Condición buena CV = 2

Condición moderada CV = 1

Condición pobre CV = 0

Calificador visual	Descripción
2 (Bueno)	El suelo presenta una estructura pulverizable con predominio de agregados finos, porosos, sin presencia significativa de terrones (estructura fuerte).
1 (Moderado)	El suelo presenta una proporción significativa (50%) de terrones densos, firmes y de agregados fácilmente desmenuzables, finos (estructura moderada).
0 (Pobre)	Estructura del suelo dominada por bloques grandes, densos, angulares o terrones subangulares, con muy pocos agregados finos. Se necesita mucha fuerza para fraccionarlos (estructura débil).

3.3. Textura

1. Tomar una muestra pequeña de la capa superficial del suelo que sea representativa del subsuelo.
2. Humedecer la muestra con agua hasta el máximo de plasticidad y amasarla entre los dedos índice y el pulgar hasta destruir los agregados.
3. Evaluar la textura del suelo según el criterio dado en la tabla siguiente intentando moldear con la masa de suelo una bola o pelota.

Calificador visual	Clase textural	Descripción
2 (Bueno)	Franco-limoso	Harinosa, ligeramente granular y pegajoso, sin grietas. Se puede moldear una bola cohesiva que se fisura cuando se aprieta.
1,5 (Moderadamente bueno)	Franco-arcilloso	Gránulos moderadamente pegajosos y plásticos. Se puede moldear una bola cohesiva que se deforma sin fisurarse al apretarse.
1 (Moderado)	Franco-arenoso	Muy granosa y harinosa, ligeramente arenosa. Se puede moldear una débil bola cohesiva que se fisura cuando se aprieta.
0,5 (Moderadamente pobre)	Arena franca, arcilla	<u>Arena franca</u> : presenta un grano muy arenoso y áspero. Casi se puede moldear una pelota pero se desintegra cuando se aprieta el suelo entre los dedos. <u>Arcilla</u> : tacto muy liso, muy uniforme y muy plástica. Se moldea una bola cohesiva que se deforma sin fragmentarse.
0 (Pobre)	Arena	Grano muy arenoso y áspero, no permite moldear una bola.

3.4. Velocidad de infiltración

Se puede realizar mediante dos métodos:

Método 1

Determinar el tiempo que tarda en desaparecer el agua encharcada después de un período lluvioso o de riego prolongado y compararlos con los expuestos en la siguiente tabla.

Calificador visual	Nº días con encharcamiento superficial	Descripción
2 (Bueno)	1	Ninguna evidencia de charcos de agua en la superficie después de transcurrido un día de la caída de la lluvia o riego intenso sobre un suelo casi saturado o ya saturado.
1 (Moderado)	2-3	Encharcamiento superficial moderado presente hasta tres días después de transcurrida una lluvia o riego intenso sobre un suelo cerca de la saturación o ya saturado.
0 (Pobre)	> 5	Encharcamiento superficial significativo que se mantiene más de cinco días después de transcurridas una lluvia o riego intenso sobre un suelo cerca de la saturación o ya saturado.

Si necesita saber el grado de infiltración pero no es posible el riego prolongado del suelo de estudio, se puede determinar mediante el siguiente método sencillo:

Método 2

Se necesita un cronómetro, un cilindro (por ejemplo, una tubería de acero o PVC de 15 cm de diámetro x 10 cm de longitud), una tabla de madera, un martillo, una botella de 0,5 L y 1 L de agua.

El procedimiento consiste en:

1. Poner el cilindro en el suelo con la tabla de madera encima. Martillar suavemente la tabla para enterrar el cilindro en el suelo hasta unos 2 cm aproximadamente. Asegurarse de que se coloque lo más recto posible. Usar los dedos para, con cuidado, afirmar suavemente el suelo solamente alrededor de los bordes internos del anillo, previniendo de este modo filtraciones adicionales. Evitar perturbar el resto de la superficie del suelo dentro del anillo.
2. Verter lentamente de forma suave, para no alterar el suelo, los 0,5 L de agua dentro del cilindro.
3. Esperar a que desaparezca el agua y verter de nuevo 0,5 L de agua anotando el tiempo transcurrido hasta que el agua desaparezca*.
4. Repetir el proceso anterior en otros puntos del terreno (con la misma pendiente y textura) para comparar las diferencias que puedan existir entre las velocidades de infiltración.

* El contenido de humedad del suelo va a afectar a la velocidad de infiltración. Por eso, si el suelo está seco, se vierte el agua dos veces. La primera cantidad moja el suelo, y la segunda da una mejor estimación de la velocidad de infiltración del suelo. En el caso de que el suelo esté muy húmedo se contabiliza el tiempo la primera vez que se vierten los 0,5 L de agua.

Comparar los valores obtenidos con los descritos en la siguiente tabla.

Calificador visual	Velocidad de infiltración	Descripción
2 (Bueno)	Rápida (< 10 minutos)	Suelos con alta infiltración. Estructura fuerte.
1 (Moderado)	Moderada (10 a 30 minutos)	Suelos que soportan lluvias moderadas. Infiltración media con presencia de escorrentía. Estructura moderada.
0 (Pobre)	Lenta (> 30 minutos)	Suelos anegados con baja infiltración y alta escorrentía. Se forman pozos o charcos de agua. Estructura débil o sin estructura.

3.5. Profundidad efectiva de las raíces

Se refiere a la profundidad de enraizamiento máxima o potencial a la que las raíces del cultivo podrían llegar. El final de la profundidad efectiva se detecta al no encontrar raíces o canales de raíces viejas, el suelo está muy compacto, sin presencia de galerías de lombrices, fisuras o grietas por las que las raíces puedan pasar.

El procedimiento consiste en:

1. Cavar una pequeña zanja, con una profundidad suficiente (en función del tipo de cultivo) para poder observar la profundidad a la que llega el suelo hasta la aparición de una capa limitante o restrictiva (compactación, rocas, transición abrupta a un material muy fino, etc.).
2. Medir con un metro dicha profundidad y comparar el valor obtenido con la tabla siguiente.

Calificador visual	Profundidad efectiva (m)
2 (Bueno)	> 0,8
1,5 (Moderadamente bueno)	0,6-0,8
1,0 (Moderado)	0,4-0,6
1,0 (Moderado)	0,2-0,4
0 (Pobre)	< 0,2

3.6. Presencia de suela de labor

1. Cavar una zanja lo suficientemente amplia para poder estar de pie dentro de ella.
2. Ir clavando con rapidez un cuchillo en el lateral de la zanja para ir observando su resistencia. Comenzar cerca de la superficie e ir descendiendo. Una suela de labor es compacta y firme, por lo que será extremadamente resistente a la penetración del cuchillo.
3. Una vez identificada la suela de labor, medir a qué altura está y su desarrollo. Tomar una muestra para determinar estructura, porosidad, presencia de raíces, etc. según lo explicado anteriormente.
4. Comparar los resultados obtenidos con la tabla siguiente.

Calificador visual	Suela de labor	Descripción
2 (Bueno)	No hay.	La tierra tiene una resistencia baja a la penetración de un cuchillo. Raíces nuevas y viejas, los canales de lombrices y fisuras son comunes. El suelo superficial es desmenuzable, con una estructura visible y un calificado visual de porosidad buena (1,5).
1 (Moderado)	Moderadamente desarrollada.	Resistencia moderada al cuchillo. Suelo firme con una estructura débil y porosidad moderada (0,5-1). Hay pocos canales de lombrices o raíces viejas y nuevas, así como pocas fisuras. Puede ocurrir algún moteado naranja o gris.
0 (Pobre)	Fuertemente desarrollada.	Resistencia alta a cuchillo. Suelo muy compacto y macizo (sin una estructura visible) y tiene mínima porosidad (0). No se observan canales de lombrices, raíces nuevas o viejas, ni fisuras. Puede ocurrir algún moteado naranja o gris.

3.7. Cobertura y compactación del suelo

El procedimiento es el mismo que el descrito en la página 8.

Una vez evaluados todos los indicadores rellene la tabla siguiente con el valor obtenido en cada muestra para todas las pruebas anteriores.

Muestra 1

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)	Valor
Porosidad		
Estructura		
Textura		
Velocidad de infiltración		
Profundidad efectiva de las raíces		
Presencia de suela de labor		
Cobertura y compactación del suelo		
Suma de valores		

Muestra 2

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)	Valor
Porosidad		
Estructura		
Textura		
Velocidad de infiltración		
Profundidad efectiva de las raíces		
Presencia de suela de labor		
Cobertura y compactación del suelo		
Suma de valores		

Muestra 3

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)	Valor
Porosidad		
Estructura		
Textura		
Velocidad de infiltración		
Profundidad efectiva de las raíces		
Presencia de suela de labor		
Cobertura y compactación del suelo		
Suma de valores		

Realice la suma de todos los valores en cada muestra y obtenga la media, para compararla con el valor de la tabla inferior.

Indicador visual	Calificador visual (0, 1, 2)
Bueno	> 7
Moderado	5-7
Pobre	< 7

En función del índice de calidad del suelo obtenido y del deseado para la parcela, llevar a cabo las prácticas necesarias, como por ejemplo, aplicación de enmiendas orgánicas, uso de abonos verdes, mínimo laboreo, ins-tauración de una cubierta vegetal, etc.

4. Indicadores biológicos

4.1. Lombrices (nº de lombrices/m²)

1. Cavar y extraer un bloque de tierra de una superficie de 30x30 cm y 30 cm de profundidad. Colocarlo en un recipiente.
2. Desmenuzar la tierra y contar el número de lombrices presentes en ella, anotando además las distintas especies o grandes grupos que veamos (epígeas, endógeas y anécicas).
3. Opcionalmente, para contabilizar las lombrices de penetración más profunda, se puede agregar en la base del hoyo que hemos cavado, una solución de mostaza (2 cucharadas de polvo de mostaza en 2 litros de agua), procurando que el piso del hoyo esté lo más nivelado posible. Al cabo de unos 5 minutos deberían aparecer las lombrices que están en profundidad, lo que permite contabilizarlas. Conviene lavar las lombrices posteriormente con agua para evitar dañarlas.
4. Repetir esta operación en 4 puntos en total de la parcela.
5. Multiplicar el número de lombrices obtenido en cada muestreo x12, para obtener el número de lombrices por m².
6. Obtener la media de los 4 valores.
7. Comparar el valor final obtenido con el valor de la tabla inferior.

Calificador visual	Nº de lombrices por m ²
2 (Bueno)	> 360 (preferentemente con al menos 3 especies).
1 (Moderado)	180-360 (preferentemente con al menos 2 especies).
0 (Pobre)	< 180 (predominantemente 1 especie).

5. Indicadores de salinidad y sodicidad

El diagnóstico en campo de la salinidad y sodicidad está descrito en el punto 2.2.2 a) y b), respectivamente del Manual de Manejo de Suelos.

Calificador visual	Cuantificación de la presencia de sales
2 (Bueno)	Sin presencia de sales o sodio en el horizonte A (superficial). No se observan estructuras columnares. No hay nivel freático salino/sódico cercano.
1 (Moderado)	Esporádica presencia de sales. Nivel freático salino/sódico a más de 1,20 m de profundidad.
0 (Pobre)	Sales en superficie del suelo, presencia de especies vegetales indicadoras de salinidad. Estructura columnar en el horizonte B (subsuperficial). Suelo masivo, sin estructura.

Manual técnico

1. Introducción a la conservación del suelo

Para valorar la importancia del suelo en el ecosistema es necesario conocer la naturaleza, propiedades y funciones del suelo, de manera que seamos capaces de comprender y evaluar el efecto que tienen sobre él las diferentes actividades que se desarrollan. El suelo constituye el soporte sobre el que se asientan el resto de los servicios ecosistémicos por lo que es un componente crítico de la biosfera, formado tanto por factores bióticos como abióticos.

1.1. Concepto e importancia del suelo

Para valorar la importancia del suelo en el ecosistema es necesario conocer la naturaleza, propiedades y funciones del suelo, de manera que seamos capaces de comprender y evaluar el efecto que tienen sobre él las diferentes actividades que se desarrollan. El suelo constituye el soporte sobre el que se asientan el resto de los servicios ecosistémicos por lo que es un componente crítico de la biosfera, formado tanto por factores bióticos como abióticos.

El suelo, puede ser definido como: *“un sistema natural vivo, dinámico, organizado y complejo, que se ha formado en la superficie terrestre compuesto de materiales orgánicos y minerales, resultado de procesos formadores físicos, físico-químicos, químicos y biológicos que tiene lugar tras instalarse microorganismos y plantas sobre la roca madre”*.

Los principales factores formadores de suelo son la roca madre, el clima, la topografía, el tiempo y los organismos vivos (plantas, animales, microorganismos y los seres humanos). La intensidad y duración con la que actúen estos factores junto con la resistencia del material original a sufrir estos cambios, van a determinar las características y el espesor del suelo (desde pocos milímetros hasta varios metros).

Todos los suelos están formados por tres fases: i) sólida, constituida por materia orgánica viva y muerta (5%) y materiales inorgánicos o minerales (45%); ii) líquida, constituida por agua con cantidades variables de materia mineral, de anhídrido carbónico y oxígeno (25%) y iii) gaseosa (25%).

Debido al tiempo necesario para la formación del suelo (para 1 cm se necesita de cientos a miles de años), su fragilidad y la larga recuperación, el suelo se considera como un recurso natural no renovable a escala humana, por

lo que su protección frente a la degradación es fundamental para su conservación y mantenimiento de su calidad.

Los suelos son la base para la producción de alimentos y muchos servicios ecosistémicos esenciales y desarrollan funciones ambientales básicas para el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos y de la materia orgánica:

- Constituyen la mayor reserva terrestre de carbono del mundo, ayudan a regular las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero, lo cual es fundamental para la regulación del clima (al absorber la radiación solar e intervenir en la evaporación) y para la adaptación al cambio climático y su mitigación (al secuestrar grandes cantidades de materia orgánica durante mucho tiempo).
- Regula el ciclo hidrológico, al controlar la entrada de agua en el suelo (infiltración), su almacenamiento y transferencia.
- Mejora la calidad de las aguas al controlar el filtrado y los intercambios iónicos.
- Mejora la calidad ambiental al actuar en el reciclado de residuos orgánicos y la atenuación de contaminantes ambientales y patógenos.
- Es indispensable para la producción de biomasa, como alimentos (aproximadamente el 95% de los alimentos mundiales se producen en ellos), forrajes, fibras, biocombustibles y masas forestales, así como para la obtención de materias primas (turba, arena, arcilla, grava, aluminio, caliza, hierro, etc.).
- Constituyen una reserva de biodiversidad ya que son el hábitat de macro, meso y microorganismos (en él se encuentra la cuarta parte de la biodiversidad del planeta). La fracción biológica del suelo es inferior al 1% del peso, pero en un suelo agrícola de buena calidad, 1 m³ de suelo alberga en torno a 400 mil millones de microorganismos.

- Sirve de soporte físico para el desarrollo de las actividades humanas (viviendas, industrias, actividades de ocio y recreo, etc.).

Los servicios ecosistémicos que los suelos proporcionan a los seres humanos se pueden dividir en: i) de automantenimiento o soporte (procesos físicos, químicos y biológicos necesarios para que el suelo pueda desarrollar sus funciones), ii) de extracción o de suministro (obtención de alimentos, fibras o pastos, entre otros), iii) de regulación (depuración de aguas, descomposición de la materia orgánica, etc.) y iv) culturales (asentamiento de poblaciones, modos de vida, conservación de restos arqueológicos, etc.).

1.2. Concepto de calidad del suelo e indicadores

El suelo, al ser un sistema vivo, complejo y dinámico tiene unas características propias que hacen difícil dar una definición de calidad de suelo que abarque la visión global del mismo, integre las distintas disciplinas científicas que lo estudian y comprenda la percepción que, desde los diferentes usos y manejos, se tiene.

Como primera aproximación al concepto de calidad del suelo algunos autores la definen como *“la capacidad (del suelo) para funcionar”*. Esta definición, basada en la función, refleja la naturaleza viva y dinámica del suelo. La calidad del suelo se puede conceptualizar como un taburete de tres patas, cuya función y equilibrio requiere la integración de tres componentes principales: productividad biológica sostenida, calidad ambiental y salud vegetal y animal. El concepto intenta equilibrar múltiples usos del suelo (p. ej., para producción agrícola, desarrollo urbano, bosques, pastizales o recreación) con objetivos de calidad ambiental.

Aunque no hay un acuerdo internacional, a nivel científico, con respecto a lo que es la calidad del suelo, sí existen avances que han permitido acercarnos a una definición ampliamente consensuada. En este manual usaremos el concepto de calidad de suelo acordado en El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America, el cual la define como *“la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat”*.

Según Labrador (2008), *“el concepto de calidad del suelo abarca un conjunto integrado de aspectos, relacionados con características agronómicas, con su funcionalidad y con su expresión lúdica y de servicio. Al admitir que la calidad del suelo integra a componentes diversos –agronómicos, sociales, económicos– y procesos edáficos, el resultado es un balance propio para cada suelo, pudiendo distinguirse una calidad «inherente» y otra «dinámica». La inherente como consecuencia de las propiedades del suelo determinadas por factores formadores y procesos de formación. La dinámica como consecuencia de un manejo, una historia y una situación socioeconómica específica”*.

El estudio de la calidad del suelo, que se aborda en el Capítulo 2, comprende la evaluación de los aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo mediante la selección de diferentes indicadores que nos permitan realizar un diagnóstico del estado de la calidad del mismo en un momento puntual y, a su vez, hacer seguimiento periódico de su evolución y del efecto de ciertas prácticas agrícolas y de manejo del suelo sobre su calidad. En cada caso de estudio, se seleccionarán los indicadores que se consideren más significativos y que nos puedan dar una idea de la calidad del suelo, siendo conveniente siempre incluir indicadores para cada uno de los aspectos del suelo. En función del tipo de suelo, su funcionalidad, condicionantes, manejos, etc., serán más relevantes unos indicadores que otros. Es decir, los indicadores seleccionados para sue-

los con problemas de compactación serán diferentes a aquellos utilizados en suelos sin este problema.

Existen dos formas básicas para evaluar la calidad del suelo:

1. Hacer mediciones periódicamente, a lo largo del tiempo, para monitorear cambios o tendencias en la calidad del suelo.
2. Comparar los valores medidos con los de una condición de suelo estándar o de referencia.

En este manual, se seleccionarán indicadores que sean representativos del aspecto a estudiar, fácilmente medibles, accesibles a diferentes tipos de usuarios y aplicables a condiciones de campo, reproducibles, fáciles de entender y comparables.

1.3. Degradación del suelo y sus causas

La degradación del suelo hace referencia al cambio sufrido en el suelo (ya sea físico, químico o biológico) cuya manifestación es la pérdida de la fertilidad o potencial productivo del mismo. Según la FAO, la degradación del suelo se define como *“un cambio en la salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios. Los suelos degradados contienen un estado de salud que no pueden proporcionar los bienes y servicios normales del suelo en cuestión en su ecosistema”*.

La degradación suele producirse por una mala gestión agrícola y de uso del suelo o unas condiciones climáticas desfavorables y tiene conse-

cuencias ambientales, sociales, económicas y culturales. Por ejemplo, una pérdida de la fertilidad tendrá como consecuencia una disminución del rendimiento agrícola (hasta el 60% en el caso de la compactación), repercutiendo negativamente en los ingresos provenientes de la agricultura.

La degradación puede ser física, química o biológica.

1. La **degradación física** se lleva a cabo mediante la compactación y la erosión del suelo. La compactación se produce por una disminución de la macro porosidad del suelo, dificultando o impidiendo el desarrollo de las raíces, el movimiento del agua a través del perfil del suelo y el intercambio gaseoso, formándose un encostramiento superficial que aumenta la escorrentía. Además, una disminución del aire en el suelo junto con un exceso de agua conduce a condiciones anóxicas (sin o con muy poco oxígeno) en el mismo, el cual va a afectar negativamente al desarrollo radicular y de la edafofauna (bacterias, hongos, insectos, lombrices, etc.).

Por otro lado, la erosión es la forma más conocida y común de degradación del suelo, ya sea debida a la acción del agua (erosión hídrica) o del viento (erosión eólica), porque conlleva la pérdida o eliminación de capas finas superficiales del suelo debido al arrastre de partículas a otras zonas adyacentes. Este arrastre de partículas (fértiles) va a producir un deterioro o destrucción de la estructura del suelo (que a su vez puede producir una compactación de suelo) y pérdida de la materia orgánica y de la biodiversidad del suelo.

La degradación física puede ocurrir por varias causas (falta de cobertura vegetal, suelos sódicos con mala estructura, bajo contenido en materia orgánica con agregados menos estables, suelos con pendientes o en zonas con fuertes lluvias) o incluso por la acción combinada de varios de estos agentes de degradación. En el caso de las cubiertas vegetales, éstas protegen al suelo de la erosión al

interceptar el impacto directo de las gotas de lluvia y del viento, disminuyen la velocidad de escorrentía y por tanto de la capacidad del agua para arrastrar suelos y sedimentos, y sus raíces ayudan a mantener la estructura del suelo mediante su estabilización mecánica a través del desarrollo de un extensivo sistema radicular, además de facilitar la infiltración del agua. Por ello, en suelos desnudos o con escasa vegetación, la superficie del suelo está más expuesta a la acción de los factores naturales (agua y viento). Por ese motivo, la lluvia es capaz de arrastrar las partículas del suelo a medida que discurre por la superficie, mientras que el golpeo de las gotas de lluvia contra un suelo desnudo produce que este se compacte, disminuyendo su capacidad de infiltración y favoreciendo que el agua discurra por su superficie arrastrando a su paso las partículas del suelo que estén sueltas. La pérdida de suelo es hasta 300 veces mayor en suelos desnudos que con vegetación.

2. La **degradación química** es un proceso por el que se modifican las propiedades químicas del suelo, ya sea por la presencia de sustancias o compuestos extraños al suelo (contaminación) o por una modificación de las concentraciones de componentes habituales en el suelo (generalmente por su aumento). En ambos casos, la modificación de las propiedades químicas conduce a un empeoramiento de la calidad del suelo, un desequilibrio en la vida del suelo, afectando al ciclo biogeoquímico de los elementos y a la cadena trófica (hay una disminución de la fertilidad del suelo y del crecimiento vegetal).

La degradación química se produce, principalmente, por el uso indebido de fertilizantes químicos y fitosanitarios y un mal manejo del regadío, que conduce a un aumento de la concentración de sales y a la consiguiente salinización, acidificación o alcalinización del suelo. Una consecuencia de las variaciones en el pH del suelo es que la disponibilidad de los nutrientes en el suelo se ve afectada. Elementos como el fósforo o magnesio no se encuentran disponibles en suelos

ácidos, mientras que el hierro o manganeso disminuyen su disponibilidad en suelos básicos.

Como consecuencia del aumento de la concentración de sales, que suele ir asociado a un aumento del potencial osmótico del suelo, el crecimiento vegetal se reduce y la actividad de los organismos edáficos disminuye alterando, por ejemplo, el curso del ciclo de los nutrientes (la fertilidad del suelo disminuye).

3. La **degradación biológica**, puede ser debida tanto a una degradación física como química, así como al empobrecimiento en materia orgánica del suelo. Este tipo de degradación se produce por una reducción de la cantidad y diversidad de los organismos del suelo encargados, entre otras funciones, de transformar la materia orgánica, intervenir en los ciclos biogeoquímicos del suelo o evitar la proliferación de plagas y enfermedades que afectan al desarrollo de las plantas, mermando su productividad.

Manual técnico

2. Evaluación y diagnóstico del suelo

El suelo al ser un sistema vivo, complejo, organizado y dinámico, conformado por la integración de la parte mineral con la fracción orgánica y en el que viven múltiples organismos, debe ser evaluado mediante el estudio de un conjunto amplio de indicadores, que reflejen el estado de los diferentes aspectos del suelo (físico, químico y biológico) y que nos puedan dar una información relevante del estado de la calidad del mismo.

Para tener una visión sistémica de la calidad del suelo, no es suficiente el estudio de algunos parámetros de forma aislada, sino que será necesario valorar un buen número de ellos, así como sus interacciones, para tener una idea más acertada del estado del suelo y de su dinámica y funcionalidad. Todo ello, nos permite conocer su nivel de nutrientes, las condiciones de habitabilidad (si es bueno para el cultivo), las características del terreno (pH, CE, textura, propiedades hídricas), detectar necesidades de enmiendas (calizas, ácidas, orgánicas, etc.), el grado de estructuración del suelo o la actividad biológica del mismo. Esto contribuye a mejorar el manejo de los suelos mejorando la rentabilidad de los cultivos que se desarrollan en él siendo, a la vez, consecuentes con el medio ambiente.

2.1. Guía para la toma de muestras

Para la realización de un análisis físico-químico de suelo en un laboratorio, lo primero que hay que hacer es una toma de muestras adecuada. Para que el resultado de una parcela sea fiable y representativo, las muestras tienen que ser lo más homogéneas y representativas posible del material que se pretende analizar.

El momento de la toma de muestras de suelos vendrá determinado porque:

- Se desee corregir el suelo antes de plantar.
- Sea necesario realizar enmiendas periódicas en terrenos con cultivos implantados.
- Se quieran aclarar las causas de las anomalías observadas en el cultivo (poca producción, cambio de coloración en hojas, etc.).

De forma general, en cultivos de ciclo corto o intensivos la frecuencia debe ser anual, mientras que en cultivos de ciclo largo se puede muestrear cada 2-3 años. La toma de muestras debe realizarse 1 ó 2 meses antes de la siembra en cultivos anuales o de la fertilización en cultivos permanentes y, en pastos, después de su corte.

Antes de tomar la muestra, y debido a que las características y propiedades del suelo están influenciadas por la profundidad, diferenciación de horizontes, ubicación del suelo o el manejo del mismo (secano, regadío, cultivos herbáceos/árboles, etc.), se debe recorrer detenidamente la parcela y observar si existen:

- Diversos tipos de tierras.

- Coloraciones distintas en los suelos.
- Coloraciones anormales en hojas.
- Quemaduras en hojas.
- Zonas de menor crecimiento.
- Zonas de menor producción.

Lo primero que hay que realizar es dividir la superficie a muestrear en parcelas o zonas de muestreo con características similares con respecto a su aspecto, altitud, color de la tierra, vegetación, orientación, riego, etc. Hay que identificar los diferentes tipos de suelos en la finca y sus límites (Imagen 1). Normalmente, los límites vienen determinados por cambios de pendientes, distinto tipo de uso (pasto/cultivo), diferente manejo (fertilización/no fertilización). Se tomarán tantas muestras como zonas diferenciadas existan en la finca de estudio.

De cada parcela o zona de muestreo se debe obtener una muestra según el siguiente procedimiento (Imagen 2):

- Se deben escoger 3 o más puntos de muestreo al azar y avanzar en zig-zag, evitando lindes y zonas externas (dejar al menos un margen de 50 cm). Estos puntos tienen que estar bien distribuidos en la parcela y contener el centro, los márgenes, zonas con pendiente, etc.
- Tratar de coger la misma cantidad de muestra en cada punto e ir juntando las submuestras en un recipiente para homogeneizarla posteriormente (descartar elementos gruesos, palos, piedras, etc.).
- Elegir correctamente la profundidad de muestreo en función del tipo de cultivo (en general, se recomienda una profundidad de 20 cm para

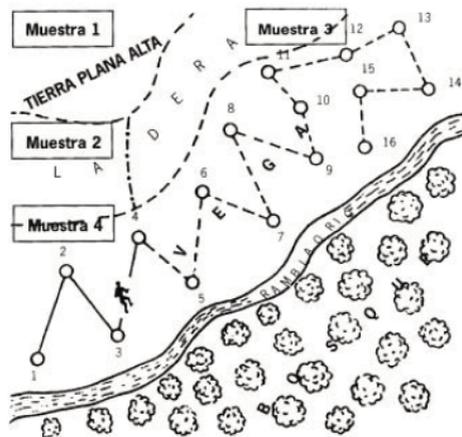


Imagen 1. División de la superficie de una finca a muestrear en función de las características del suelo. Imagen de: López Rita y López Medina (1990).

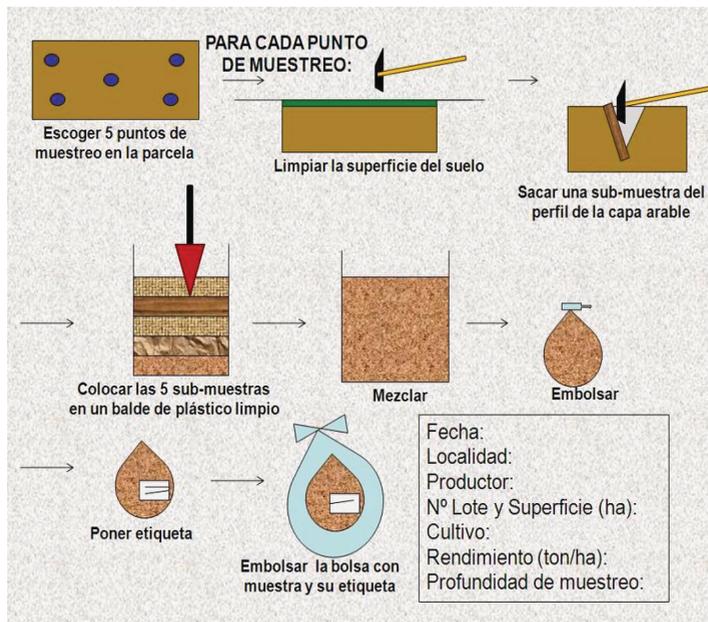


Imagen 2. Muestreo de suelos. Imagen tomada de: <https://infoagronomo.net/>

la mayoría de los cultivos agrícolas porque esto coincide con la mayor concentración de raíces en el suelo. En árboles, pueden estar entre 50 y 100 cm de profundidad). Se pueden tomar muestras en los siguientes rangos de profundidades: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, etc.

Para la toma de muestras:

1. Raspar con la azada la superficie del suelo para eliminar restos vegetales y abonos. Evitar no eliminar la primera capa de suelo.
2. Cavar un hoyo hasta la profundidad a la que deseamos tomar la muestra y tomar una porción de tierra de las paredes del hoyo realizado. Las muestras se pueden tomar con azada, barrena o cualquier otro utensilio que no contamine.
3. Colocar las porciones en un balde o una bolsa. Si se van tomar muestras a varias alturas, poner las muestras tomadas cada 20 cm por separado.
4. Al término del recorrido se procederá a mezclar todas las submuestras extraídas a la misma profundidad, separando una porción representativa de la mezcla resultante (de 0,5-1 kg de tierra aproximadamente). La muestra final, que se enviará al laboratorio, se obtendrá mezclando bien las submuestras tomadas correspondientes a la misma profundidad (0-20 cm) con (0-20 cm), (20-40 cm) con (20-40 cm), etc.
5. Colocar la muestra compuesta en una bolsa de plástico, con una etiqueta identificadora por dentro y por fuera con el número de parcela correspondiente. Las muestras se deben enviar al laboratorio en los siguientes 1 ó 2 días.

En cultivos con riego por goteo, la muestra se tomará a una distancia de 5 a 10 cm del punto de goteo, dependiendo del tamaño del bulbo húmedo.

Se debe evitar la toma de muestra en la pared de dicho bulbo ya que es la zona de acumulación de sales. Una vez conocida las dimensiones del bulbo húmedo, se ahorra mucho tiempo y esfuerzo si se continúa muestreando con barrena.

¡PRECAUCIÓN! No tomar muestras de áreas recién fertilizadas, zonas cercanas a viviendas, establos o lugares donde se almacenen productos químicos, materiales agrícolas etc., inmediaciones de árboles o lugares con quemas recientes. Además, hay que usar herramientas y bolsas limpias, sin residuos de otros materiales y sin superficie oxidada y evitar comer, fumar o manipular otros productos durante el muestreo ya que puede contaminar las muestras y obtener resultados falsos.

2.2. Evaluación mediante métodos directos o sencillos

La evaluación del suelo mediante métodos directos o sencillos se basa en obtener información del suelo mediante la observación visual, el olor y el tacto.

La evaluación visual de un suelo, nos permite conocer el estado de calidad del mismo a través de la observación de diferentes propiedades como la textura, estructura, consistencia, color, porosidad, costras superficiales, cobertura, presencia de lombrices, etc.; ya que estos indicadores son capaces de cambiar bajo las diferentes condiciones que se dan en los diferentes manejos del suelo.

Aunque esta evaluación es muy subjetiva, porque los resultados obtenidos van a variar en función de la persona observadora, puede ser una herramienta muy útil para evaluar los cambios que se producen en el suelo, la toma de decisiones y el uso sostenible del mismo.

2.2.1. Indicadores físicos

Las propiedades físicas del suelo son muy importantes para mantener la productividad de la tierra. La degradación de estas propiedades tiene efectos sobre el crecimiento de las plantas, afectando a su rendimiento y a la calidad de las cosechas.

a. Color del suelo

Algunos de los procesos que ocurren en el suelo, como por ejemplo la degradación de los restos vegetales, dan lugar a coloraciones características. Por ello, a través de la visualización del color de un suelo podemos conocer qué características físicas o químicas tiene.

- Colores oscuros nos indican la presencia de materia orgánica, que es importante porque participa en la mayoría de los procesos biológicos, químicos y físicos que ocurren en el suelo, lo que determina colectivamente la salud de este.
- Colores rojizos son debidos a la presencia de óxidos de hierro unidos a las arcillas y nos indica una buena aireación del suelo (no se produce encharcamiento).
- Colores blancos pueden ser debido a la pérdida de materia orgánica, de óxidos de hierro, etc., como consecuencia de procesos de lavado del suelo (en este caso el color blanco solo se encuentra en la superficie) o indicar la presencia de componentes de color claro como los carbonatos de calcio, yeso (la presencia de ambos componentes en el suelo da lugar a suelos con un pH básico) o de eflorescencias salinas.
- Colores grises, verdes o moteados nos indican suelos con un exceso de agua. La falta de oxígeno producida por el exceso de agua, disminuye el hierro (Fe) y manganeso (Mn) lo que da un color grisáceo al

suelo. A medida que disminuye la cantidad de oxígeno, predominarán las manchas naranjas y luego las grises. La abundancia de manchas grises indica un suelo con deficiente drenaje y aireación en gran parte del año. Además, la acumulación prolongada de agua junto con una pobre aireación del suelo puede dar lugar a una serie de procesos químicos y bioquímicos que producen toxinas que dañan a las raíces, disminuyendo la productividad vegetal al reducir la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes; y también dar lugar al desarrollo de hongos como *Rhizoctonia*, *Pythium* y *Fusarium* que llevan a la muerte de raíces.

b. Capacidad de infiltración

Para un adecuado desarrollo de los procesos en el suelo, se requiere que este cuente con un adecuado equilibrio entre agua, aire y fracción sólida del suelo. Para ello, es importante revisar la infiltración del agua en el mismo, evaluando la velocidad con que el agua entra en el perfil del suelo.

- Si la velocidad es baja, significa que la mayoría del agua que recibe el suelo (por riego o lluvia) escurrirá superficialmente por lo que no habrá suficiente humedad para las plantas, además de aumentar el riesgo de pérdida de suelo por erosión hídrica.
- Si la velocidad de infiltración es alta, y no hay ningún horizonte del suelo con poca permeabilidad, la cantidad de humedad del suelo será suficiente para el crecimiento vegetal.
- Sin embargo, si la velocidad de infiltración es muy alta y en el suelo hay algún horizonte subsuperficial poco permeable (por compactación o por elevada concentración de arcillas, por ejemplo), se pueden originar problemas de exceso de agua en esa zona del perfil, que puede provocar problemas de aireación, desarrollo de hongos, podredumbre de las raíces, etc.

c. Estabilidad de los agregados del suelo al agua

Los agregados del suelo son la agrupación, de forma natural, de las partículas del suelo entre sí y que tienen un carácter persistente. Los agregados pueden distinguirse porque se encuentran separados por huecos.

Un agregado verdadero tiene que ser estable al agua, es decir, la unión de sus partículas individuales debe mantenerse después de haber sido humedecido lenta, pero totalmente, para que el agua pueda seguir moviéndose dentro del suelo cuando esté totalmente húmedo. Cuanto más estable al agua sean los agregados mejor será la circulación del agua dentro del perfil del suelo.

Además, a durabilidad de los agregados se ve afectada por el paso de maquinaria, pisoteo del ganado, laboreo continuo, implantación de un cultivo, etc.

d. Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa del tamaño de las partículas que conforman dicho suelo (arena, limo y arcilla). La arena, tiene un tamaño de la partícula de 2-0,02 mm, el limo de 0,02–0,002 mm y es menor de 0,002 mm en las arcillas.

La textura del suelo va a influir en la estructura del suelo, la retención de agua, la aireación, el drenaje, la temperatura, y el suministro y retención de nutrientes.

En función de la fracción que predomine en el suelo (fracción arcilla, fracción limo o fracción arena) podemos encontrar suelos arenosos, limosos, arcillosos o francos.

- Los suelos arenosos se caracterizan por una buena aireación, muy alta permeabilidad, baja retención de agua y mala estructura, además de no

proporcionar nutrientes al carecer de propiedades coloidales (no tienen la capacidad de retener nutrientes en la superficie de sus partículas).

- Los suelos limosos, son suelos que se caracterizan por tener unas características físicas y químicas intermedias entre los suelos arenosos y arcillosos, presentando una baja fertilidad, una permeabilidad y capacidad de retención de agua de medio a bajo y una compactación y almacenamiento de nutrientes medio.
- Los suelos arcillosos se caracterizan por tener una buena estructura, ser muy ricos en nutrientes (son capaces de adsorber iones y moléculas). Tienen la capacidad de retener gran cantidad de agua, pero al ser poco permeables, tener una mala aireación y una alta compactabilidad dificulta la penetración y desarrollo de las raíces de las plantas.
- Los suelos francos (tienen un equilibrio entre las diferentes fracciones, no predominando ninguna de ellas) son, desde el punto de vista agrícola, los más adecuados para el desarrollo vegetal porque sus propiedades se presentan compensadas.

e. Profundidad efectiva de las raíces

La profundidad efectiva es aquella profundidad a la que las raíces de un cultivo pueden llegar y aprovechar los nutrientes presentes. La profundidad deseable va a depender de factores como la lluvia anual promedio, cultivo en secano o en regadío y tipo de planta cultivada (un árbol va a desarrollar raíces más profundas que una planta hortícola). Cuanto mayor sea la profundidad de enraizamiento, mayor será la capacidad de retención de agua del suelo, sobre todo en períodos secos donde las raíces pueden acceder a las reservas de agua de la profundidad, lo que aliviará el estrés de agua, asegurando la supervivencia de los cultivos sin riego. Además, los sistemas de raíces profundas también permiten

acceder a una mayor cantidad de macro y micro elementos, favoreciendo el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la cosecha; y ayudan a elevar el contenido de materia orgánica y la actividad biológica del suelo en profundidad.

f. Compactación del suelo

La compactación es el proceso por el cual se produce una disminución del espacio de los huecos del suelo, con la consecuente disminución del volumen y aumento de la densidad. Principalmente se produce, de forma natural, por el predominio de la fracción limosa y débil estructuración del suelo y, antropogénicamente, por el uso inadecuado de maquinaria y vehículos pesados. La pérdida de la porosidad limita el crecimiento de las raíces, el paso del agua, el aire y los nutrientes.

Visualmente, la compactación se puede apreciar por la resistencia a la penetración en el suelo, ya sea con pala, cuchillo, azada, etc. o por los cambios de dirección y forma de las raíces, que pueden indicar la presencia de un horizonte compactado.

Si la compactación se produce a nivel superficial, se denomina costra superficial y además de reducir la infiltración y almacenamiento del agua en el suelo también reduce la aireación causando condiciones anaeróbicas.

g. Suela de labor

La suela de labor es la compactación de una capa de suelo a cierta profundidad, normalmente justo debajo de la profundidad a la que se haya labrado habitualmente a lo largo de los años, debido al peso del arado. Tiene los mismos efectos negativos sobre las propiedades del suelo que la compactación.

h. Pérdida de suelo

La erosión es el proceso por el cual se produce la pérdida de las partículas del suelo, que son transportadas a otras zonas diferentes a su lugar de origen, perdiéndose de esta manera la capa superficial del suelo. Esta erosión se puede producir por acción del viento (erosión eólica) o del agua (erosión hídrica). La pérdida de suelo a través de la erosión produce una reducción de nutrientes (debido a la pérdida de materia orgánica) y afecta a la estructura del suelo, disminuye la infiltración, permeabilidad del agua a través del perfil del suelo y la capacidad de retención del agua disponible debido al incremento del escurrimiento superficial y también reduce la profundidad del suelo (las raíces tienen menos espacio donde desarrollarse).

La pérdida de suelo es un fenómeno fácilmente observable, que se caracteriza, por ejemplo, por la formación de surcos, cárcavas (surcos tan profundos que no pueden ser atravesados por los tractores), coladas de barro, deslizamientos de tierra, cambio imprevisto de color superficial, exposición de raíces en superficie, afloramiento de rocas, acumulación de sedimentos en las zonas bajas de las pendientes.

2.2.2. Indicadores químicos

a. Salinidad

Un suelo salino es aquel en el que se ha producido una acumulación de sales más solubles que el yeso, en suficiente cantidad para interferir en el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas, ya sea por la alta concentración de sales o por la toxicidad causada por iones específicos (como sodio, cloro, boro) siendo la disminución del rendimiento proporcional a la concentración de sales. Predominan sales solubles neutras: NaCl, MgCl₂, Na₂SO₄ y MgSO₄, y presencia de iones de sodio, calcio y magnesio en la solución del suelo.

Los suelos salinos se forman por el movimiento, redistribución y acumulación de sales en una cuenca de drenaje, siendo su origen los procesos de meteorización de las rocas. Sin embargo, las actuaciones del hombre han dado lugar a procesos de salinización de suelos importantes debido a una inadecuada actividad agrícola (mal uso de fertilizantes, transformaciones de terrenos a regadío que han provocado una elevación del contenido en sales al mojar materiales con sales solubles, riego con aguas salinas, aumento del nivel de la capa freática, etc.) y por actividades industriales y mineras (por acumulación en superficie de materiales salinos y sódicos y por aumento de la meteorización debido a la lluvia ácida).

La medida de la concentración de la fase líquida del suelo se hace a través de la conductividad eléctrica (CE) en extractos líquidos del mismo. El diagnóstico de la salinidad se hace atendiendo a la sensibilidad del cultivo específico considerado a la salinidad:

- CE^{*} > 1,5 dS/m a 25°C suelo salino para cultivos sensibles.
- CEs > 3,0 dS/m a 25°C suelo salino para cultivos moderadamente sensibles.
- CEs > 6,0 dS/m a 25°C suelo salino para cultivos moderadamente tolerantes.
- CEs > 10,0 dS/m a 25°C suelo salino para cultivos tolerantes.

* CE^{*}= conductividad eléctrica en extracto saturado.

Diagnóstico en campo de la salinidad:

- Presencia de vegetación halófila: géneros Salicornia, Suaeda, Crithmum, Mesembryanthemum, Limonium, etc.

- Presencia de eflorescencias salinas de color blanco en la superficie del suelo (de sabor salado si son por cloruro sódico o amargo por cloruro de magnesio).
- Efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas:
 - Mala germinación.
 - Crecimiento retardado y menor área foliar.
 - Color verde más oscuro que en condiciones no salinas.
 - Escasa o nula producción: Los efectos sobre el rendimiento dependen de la tolerancia de los cultivos a la salinidad.
 - Síntomas de toxicidad por exceso de iones específicos, en función de la selectividad de la planta en la absorción de iones y sus requerimientos : i) quemaduras en los bordes de las hojas por exceso de cloruros; ii) toxicidad por exceso de boro asociado a suelos de climas áridos relacionados a suelos de zonas volcánicas y aguas de riego que contengan dicho elemento; iii) síntomas de carencia en calcio por exceso de Mg y sulfato; iv) toxicidad por sodio inducida por el exceso de sulfato; v) clorosis férrica por exceso de bicarbonatos.

b. Sodicidad

Un suelo sódico se caracteriza por presentar un porcentaje de sodio intercambiable superior al 15%. Tiene un efecto perjudicial para las propiedades físicas y químicas: pH elevado (pH pasta saturada > 8,2), dispersión de las arcillas, mala estructura, mala aireación, sellado y encostramiento del suelo, disminución de la conductividad hidráulica, etc. No suele haber cantidades apreciables de sales solubles neutras,

pero sí hay carbonato de sodio y domina el sodio, como catión soluble en la solución del suelo.

Ayers y Wescot (1987) y Chabra (1996), han establecido una tolerancia relativa de los cultivos a la sodicidad de manera orientativa como:

- Sensibles: cultivos que toleran menos de un 15% de sodio intercambiable en el suelo.
- Semitolerantes: cultivos que toleran entre el 15 y el 40% de sodio intercambiable.
- Tolerantes: cultivos que toleran más del 40% de sodio intercambiable.

Diagnóstico en campo de la sodicidad:

- Eflorescencias negras en la superficie del suelo, debido a materia orgánica disuelta a pH muy alcalino debido al carbonato sódico presente.
- Presencia de vegetación especializada y zonas sin vegetación.
- Dispersión de las arcillas.
- Mala estructura del suelo (sellado y encostramiento superficial).
- Reacción fuertemente alcalina del suelo.
- Lento movimiento del agua en el suelo.
- Los cultivos en suelos sódicos se ven afectados dadas las propiedades físicas desfavorables del suelo (baja permeabilidad al agua y al aire) con un deficiente desarrollo radicular, toxicidad por exceso de iones específicos como sodio, carbonatos, molibdeno, etc. y desequilibrios

nutritivos y carencia de calcio (y magnesio) por precipitación dado el elevado pH.

c. pH del suelo

Propiedad físico-química que hace referencia al grado de acidez, basicidad o alcalinidad de un suelo. El pH del suelo es importante porque influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, movilidad, disolución y precipitación de electrolitos; en el hábitat de los microorganismos, etc.

En función de su pH, los suelos se pueden clasificar en suelos ácidos (pH inferiores a 6,5), suelos calizos (pH del orden de 8,5), suelos con yeso y sin sales más solubles (pH del orden de 7,8) y suelos alcalinos (pH de 10-12).

- Los suelos fuertemente ácidos, con $\text{pH} < 5,5$ presentan ácidos minerales libres, aluminio ocupando las zonas de intercambio de los suelos, bajo contenido en cationes divalentes (como calcio o magnesio) y escasa actividad bacteriana. Los rendimientos de cultivos en dichos suelos se reducen, ya que las formas solubles del aluminio inhiben el desarrollo radicular, interaccionan con el fósforo y afectan a la translocación de otros nutrientes, pudiendo aparecer deficiencias en calcio, potasio, nitrógeno, magnesio, molibdeno, fósforo y azufre y síntomas de toxicidad por aluminio y manganeso.
- Los suelos con pH entre 5,6 y 7,3, son los adecuados para la mayoría de los cultivos, con máxima disponibilidad de nutrientes.
- Los suelos calizos (pH entre 7,4 y 9), presentan altos contenidos en carbonato cálcico, aunque en suelos con pH de 9 estos valores podrían deberse a carbonatos de magnesio, si no hay sodio. Los cultivos pueden mostrar clorosis férrica debido a los bicarbonatos.

- Los suelos con $\text{pH} > 9$ presentan altos contenidos en carbonato sódico y elevado porcentaje de sodio intercambiable, muy mala estructura y baja conductividad hidráulica. Su actividad microbiana es escasa. Los cultivos en dichos suelos pueden presentar toxicidad por sodio y boro y deficiencia en micronutrientes por su baja disponibilidad (excepto en molibdeno).

d. Materia orgánica

La materia orgánica es la reserva edáfica orgánica del carbono. Está compuesta principalmente por carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y, en menor proporción, por azufre, fósforo, molibdeno y otros elementos. Según Labrador (2012), *“la materia orgánica del suelo es el material orgánico de origen biológico, que procede de alteraciones bioquímicas de restos de animales, plantas y microorganismos, y de compuestos procedentes del metabolismo vegetal y microbiano. Puede encontrarse en el interior de los agregados y en la solución del suelo, acumulándose en la superficie y a lo largo del perfil. Presenta distintos estados de transformación y estabilización derivados de la dinámica del medio vivo, de las interacciones con el medio mineral, de los factores ambientales, del tipo de suelo y de las prácticas de manejo”*.

Clasificación de la materia orgánica MO:

Desde el punto de vista dinámico, la MO puede clasificarse como:

- a. MO viva: formada por la biomasa macro y microbiana y las raíces. Los organismos son componentes y al mismo tiempo participan en la descomposición y transformación de los restos orgánicos. Es biodisponible, muy activa y más fácilmente mineralizable (degradable).
- b. MO no viva: formada por i) la fracción no húmica: constituida por componentes orgánicos en proceso de descomposición. Está sujeta a la

actividad biológica y asociada a los macroagregados. Es bioquímicamente identificable y fácilmente biodegradable; ii) la fracción húmica: constituida por macromoléculas complejas que son resultado de los procesos de humificación, denominadas sustancias húmicas. Forman parte integral del suelo y no pueden ser separadas por medios mecánicos.

Funciones de la MO en el suelo

- **Propiedades físicas:** los componentes orgánicos i) intervienen en la formación y estabilización de los agregados del suelo, mediante macromoléculas orgánicas permanentes o productos microbianos y de las plantas como gomas formadas por polisacáridos, raíces finas, micelios de hongos, hemicelulosas o sustancias húmicas; ii) las sustancias húmicas aumentan la capacidad de retención de agua del suelo; iii) elevada porosidad y conductividad hidráulica; iv) menor riesgo de sellado y encostramiento superficial y, por tanto, de escorrentía superficial y erosión hídrica; v) temperatura más estable a lo largo del año.
- **Propiedades químicas:** las sustancias húmicas, dada su carga eléctrica y elevada superficie específica, i) actúan como almacén de nutrientes, ya que intervienen en los procesos de intercambio catiónico con los cationes de la fase líquida del suelo; ii) actúa como filtro de moléculas contaminantes, como metales pesados en la solución del suelo, compuestos orgánicos de baja solubilidad como muchos herbicidas; iii) aumentan la capacidad amortiguadora del suelo frente a cambios de pH y de concentraciones en la solución del suelo, dada la carga variable las sustancias húmicas.
- **Propiedades biológicas:** la materia orgánica del suelo (MOS) es la fuente de alimento y energía (carbono) para la fauna del suelo y, al mineralizarse, de nutrientes para las plantas. Contiene sustancias orgánicas de uso y actividad biológica-funcional que con-

trolan las relaciones entre los organismos del suelo, o entre éstos y las raíces. La relación Carbono orgánico total/Nitrógeno total (relación C/N) de la MOS es un indicador de su calidad, ya que los microorganismos del suelo necesitan una relación C/N en torno a 24. Valores por encima de este nivel resultarán en un déficit temporal de nitrógeno (inmovilización) y aquellos con una relación C/N menor resultarían en un superávit temporal de nitrógeno (mineralización).

La capacidad del suelo para almacenar nutrientes, retener la humedad, mitigar la producción de gases de efecto invernadero, resistir la degradación física, química y biológica, y actuar como un medio idóneo para la productividad, dependen de la calidad y cantidad de la materia orgánica del suelo.

e. Elementos contaminantes del suelo

Pueden ser compuestos inorgánicos (metales pesados, no metales, sales, deposiciones ácidas desde la atmósfera, etc.) u orgánicos (residuos orgánicos animales o humanos, agroquímicos y sus productos de degradación, petróleo, etc.), introducidos de forma incontrolada en el suelo por la acción del hombre.

Su comportamiento en el suelo (movilidad, acumulación, degradación, etc.) va a depender del pH, potencial redox, contenido en componentes adsorbentes (arcillas y componentes orgánicos) con los que pueda formar complejos.

Efectos:

- Inhiben el crecimiento de las plantas.
- Resultan tóxicos para la fauna del suelo.

- Tienen un gran alcance por su introducción en la cadena trófica debido a cosechas contaminadas y al contaminar otros nichos ecológicos como aguas freáticas o superficiales.

2.2.3. Indicadores biológicos

El suelo, además de ser soporte y fuente de nutrientes para las plantas, debe reunir las condiciones adecuadas para que la vida del suelo pueda habitar en él y desarrollar su actividad correctamente. La presencia y actividad de los organismos del suelo es determinante para el mantenimiento de la fertilidad del mismo, mejorar su productividad y asegurar su calidad.

Las funciones esenciales para los ecosistemas que desempeñan los diferentes tipos de organismos del suelo son:

- Mantenimiento de la estructura.
- Regulación de la dinámica del agua.
- Intercambio de gases con la atmósfera y secuestro de carbono.
- Eliminación de compuestos tóxicos.
- Dinámica de los nutrientes.
- Dinámica de la materia orgánica.
- Supresión de plagas y enfermedades.
- Relación simbiótica y asimbiótica con las raíces de las plantas.
- Control del crecimiento vegetal.

Los indicadores biológicos propuestos permiten evaluar de una manera sencilla diferentes aspectos del suelo, no solo los que hacen referencia a los organismos del suelo y sus funciones sino también a los aspectos físicos y químicos del mismo pudiendo informarnos sobre la incidencia que las prácticas agrícolas tienen sobre la calidad del suelo.

a. Lombrices

Las lombrices son uno de los macroorganismos más estudiados a nivel mundial para evaluar la calidad y salud del suelo. Las mismas se pueden desarrollar a diferentes niveles del suelo y sus poblaciones pueden variar con las características del sitio (disponibilidad de nutrientes y condiciones del suelo), con la estación del año y con las especies de lombrices involucradas. Las poblaciones son altamente variables en espacio y tiempo, de ahí que sea importante evaluarlas varias veces y siempre en las mismas épocas del año, preferentemente en primavera y otoño.

Se pueden distinguir, a grandes rasgos, tres tipos de lombrices:

- Epigeas: se alimentan de restos de plantas que están sobre la superficie del suelo o dentro de las capas de restos vegetales, raramente forman galerías o madrigueras y son de tamaño pequeño a mediano, suelen tener un color rojizo, también denominadas del estiércol o del compost.
- Endogeas: son comedoras de suelo, forman amplios sistemas de galerías horizontales y pueden ser pequeñas o grandes.
- Anécicas: se alimentan de restos de plantas y suelo, viven en galerías verticales y son de gran tamaño.

Las lombrices son consideradas como constructoras de la estructura del suelo y en general mejoran la calidad del mismo porque:

- Incrementan la disponibilidad de nutrientes.
- Aceleran la descomposición de la materia orgánica.
- Mejoran la porosidad, capacidad de infiltración y ayudan a la formación de agregados del suelo, aliviando los problemas de compactación.
- Sus redes de canales favorecen la penetración de raíces, agua, aire, nutrientes y otros organismos.
- Introducen en profundidad materia orgánica

Las poblaciones de lombrices pueden verse afectadas por diferentes factores:

- Laboreo: el laboreo puede llegar a matar hasta el 25% de las lombrices.
- Temperatura: la temperatura óptima oscila, para lombrices, entre 10°C y 20°C; el rango superior letal es de 25°C a 35°C.
- Textura: suelos de texturas medias son más favorables para las lombrices que suelos arenosos o arcillosos.
- El pH: la mayoría de las lombrices viven en suelos con pH entre 5 y 7,4.
- Alimento: la calidad y cantidad de alimento (materia orgánica) afecta la distribución y abundancia de lombrices.
- Disturbación del suelo: las poblaciones de lombrices en general son mayores en suelos no disturbados.
- Humedad del suelo: restricciones de humedad del suelo generalmente determinan la distribución de las lombrices y su actividad.

- Agroquímicos: la mayor parte de herbicidas en base a triazina son ligeramente tóxicos. Los fungicidas, los insecticidas, concretamente los organofosforados y la mayoría de los insecticidas basados en carbamato, y los nematicidas, son tóxicos para las lombrices. Además, el uso regular de sulfato de amonio y amoníaco anhidro, y de urea recubierta con sulfato, hace decrecer las poblaciones de lombrices.

b. Plantas bioindicadoras

El estudio de las plantas bioindicadoras nos da una información sobre el estado del suelo donde crecen en un momento dado. Este método está basado en que la mayoría de las especies vegetales necesitan unas condiciones ambientales y de suelo precisas para asegurar su germinación y crecimiento. Estas condiciones son conocidas por el estudio del biotopo primario (zonas donde dichas plantas crecen de forma natural sin la intervención del hombre). La presencia de ciertas especies en las parcelas agrícolas puede darnos una información relevante sobre el estado de nuestro suelo, indicándonos si el suelo es calcáreo, ácido, salino, si hay compactación, si existe anaerobiosis (falta de oxígeno), la riqueza en ciertos nutrientes, etc. Para identificar las especies de plantas silvestres que crecen en nuestra parcela nos puede servir una guía botánica. Además de tener en cuenta las especies encontradas y su abundancia, es importante fijarse en el estado del suelo (textura, humedad, color, compactación, etc.) y todas aquellas observaciones de la parcela que puedan ser útiles. La información que nos pueden aportar estas plantas conviene que sea contrastada con los resultados obtenidos del estudio de otros indicadores del suelo y de los análisis físico-químicos del mismo, ya que no siempre la información que obtenemos de estas plantas es consistente. Dicha información contrastada puede servirnos para mejorar o corregir ciertas prácticas agronómicas.

Algunos ejemplos de la relación entre las plantas, que se encuentran de forma natural, y la información que nos puede indicar del suelo son:

- Acerilla (*Oxalis* sp.) se encuentra en suelos desnudos, muy labrado y con mala estructura.
- Verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), se encuentra en suelo salinos ricos en nitrógeno.
- Cenizo (*Atriplex patula* L.) y Fumaria (*Fumaria officinalis* L.), se encuentran en suelos con buena estructura y ricos en nitrógeno.
- La ortiga (*Urtica dioica* L.), se encuentra en suelos con abundante materia orgánica ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.
- El helecho (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), la acedera (*Rumex acetosa* L.), el brezo (*Erica arborea* L.), el castaño (*Castanea sativa* Mill.) o la retama negra (*Cytisus scoparius* (L.) Link) pueden encontrarse en suelos ácidos.
- La mostaza (*Sinapsis alba* L.), la magarza (*Matriarca recutita* L.) y la amapola (*Papaver rhoeas* L.) indican suelos calcáreos ricos en humus.
- El cártamo silvestre (*Centaurea jacea* L.) y la zanahoria (*Daucus carota* L.) son típicos de suelos calcáreos.
- La cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) y la menta (*Menta arvensis* L.) se encuentran en suelos húmedos poco aireados.

2.2.4. Indicadores de productividad en los cultivos

El descenso del rendimiento de los cultivos puede ser un indicativo de la degradación de la tierra, pero no es el único factor determinante, ya

que también influye el clima, la calidad de la semilla, la incidencia de plagas y enfermedades, el manejo del cultivo, etc. Incluso con índices de degradación del suelo crecientes, los rendimientos pueden mantenerse o aumentar al aplicarse prácticas de cultivo que, inicialmente enmascaran el problema, como el cambio a especies o variedades dentro de la misma especie más tolerantes a procesos de degradación, intensificación de la producción añadiendo fertilizantes e implementación de sistemas de riego. Por tanto, para asociar las pérdidas de productividad a la degradación del suelo, habría que tener estos aspectos en cuenta.

Los síntomas en cultivo asociados a procesos de degradación y pérdida de calidad del suelo, pueden ser:

- Aparición de rodales de menor crecimiento y/o con síntomas de carencias.
- Reducción del diámetro del tallo en cultivos hortícolas.
- Menor altura de plantas (teniendo como referencia plantas de la misma variedad).
- Desarrollo radicular pobre.
- Disminución del número de espigas por superficie (en cereales), número de flores por planta o número de flores por inflorescencia (según la especie de la que se trate).
- Reducción del tamaño o el calibre de los frutos cosechados y disminución de la producción de biomasa.
- Aumento de la presencia de las plagas y las enfermedades en el suelo.

2.3. Evaluación mediante métodos analíticos

2.3.1. Indicadores de suelo que se determinan específicamente en laboratorio

A pesar de que la evaluación visual del suelo nos da mucha información sobre sus características físicas, química y biológicas, la toma de decisiones sobre ciertos aspectos relacionados con el manejo del suelo (por ejemplo, el tipo de fertilizante a usar en función de las carencias del suelo o la cantidad de fertilizante) hace necesario realizar un análisis cuantitativo de los suelos, a fin de conocer de manera precisa sus características físicas, químicas o biológicas. En todo caso, el análisis de laboratorio debe ser en todos los casos un complemento de la observación visual del suelo.

a. Determinaciones físico-químicas

- Contenido en agua útil o disponible: el suelo es el principal suministrador de agua para las plantas, por su capacidad para almacenarla e ir cediéndola a medida que lo requieren. Pero no toda el agua que hay en un suelo puede ser absorbida por las plantas ya que, cuando hay escasez, las moléculas de agua están tan fuertemente unidas a las partículas del suelo que las raíces no pueden absorberla. El agua útil, es aquella cantidad de agua que puede ser almacenada en el suelo y que puede ser aprovechada por las raíces de las plantas permitiendo el crecimiento normal de estas. El contenido de agua útil de un suelo va a depender de su textura, profundidad, densidad o concentración de materia orgánica.
- Textura: aunque existen métodos visuales para poder saber la textura de un suelo, es necesario su análisis en el laboratorio para poder conocer la

proporción de las diferentes partículas del suelo (arena, limo y arcilla). Conocer la clase textural del suelo nos permite poder saber el comportamiento del mismo frente al laboreo, las relaciones agua-suelo que se dan en él, etc.

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): las partículas más finas del suelo (arcillas, humus, óxidos hidratados de hierro, manganeso y aluminio) poseen cargas eléctricas en su superficie que les permiten retener de forma reversible cationes (iones con carga positiva) del suelo (K^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ , etc.). Por ejemplo, la CIC de la arena es de 0 $cmol(+)/kg$, mientras que la de la materia orgánica está entre 100-300 $cmol(+)/kg$.

La CIC de un suelo, además de la composición del mismo, también está influenciada por otros factores como el pH (a pH ácidos las cargas predominantes en la disolución del suelo son mayoritariamente positivas, mientras que a pH básicos son negativas).

Cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico de un suelo mejor será el desarrollo de la estructura de este y de los agregados del suelo, mayor será la disponibilidad de nutrientes para las plantas, se incrementa la capacidad del suelo para retener elementos contaminantes, etc.

b. Determinaciones biológicas

- Respiración de los microorganismos del suelo: consiste en determinar la emisión de CO_2 desde el suelo, que se relaciona con la actividad metabólica de los organismos del mismo. A mayor valor de CO_2 , mayor contenido en microorganismos.
- Micorrizas: es la simbiosis entre las raíces de las plantas y los hongos formadores de micorrizas arbusculares. Esta unión conduce a una mejora del crecimiento y del estado nutricional del vegetal, ya que el micelio externo de los hongos micorrícicos mejora la absorción de fósforo (mayoritariamente en el suelo en forma no disponible para las plantas), nitrato,

amonio y micronutrientes, transfiriéndolos a las especies vegetales con las que se asocia.

Las plantas micorrizadas presentan mayor desarrollo radicular, tamaño y tasa fotosintética que las no micorrizadas. Además, los hongos micorrícicos protegen a las plantas frente a la sequía, salinidad, contaminación por metales pesados, incrementa su resistencia frente a plantas, enfermedades y parásitos, mejora la estructura y estabilidad del suelo y son capaces de interactuar con otros microorganismos de la rizosfera (por ejemplo, bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico).

En Canarias, se han desarrollado trabajos en suelos de tomate, viña y platanera utilizando los hongos formadores de micorrizas como bioindicadores de la calidad de los suelos.

- **Análisis de los microorganismos:** Los microorganismos del suelo están involucrados en todas las actividades que ocurren en él (ciclo del carbono, degradación de la materia orgánica, desarrollo de las raíces, etc.). Por tanto, el estudio de la abundancia, actividad y biodiversidad taxonómica, metabólica, funcional o genética de los microorganismos (bacterias, actinobacterias, arqueobacterias, hongos filamentosos y microorganismos endófitos), ofrece una valoración integrada de la salud del suelo.

2.4. Evaluación mediante análisis de imagen

Análisis de imagen mediante satélite, cámaras térmicas y multiespectrales.

La evaluación mediante análisis de imagen se realiza a través de la sensorización remota, la cual hace uso de un conjunto de sensores y equi-

pos de transmisión, asignados en aeronaves, naves espaciales u otras plataformas, cuyo objetivo es captar los eventos y procesos que ocurren en la superficie terrestre, derivados de la respuesta de la radiación electromagnética así como de las sustancias presentes en las superficies estudiadas.

La principal ventaja del uso de la sensorización remota se refiere a su alcance en el proceso de monitoreo, gracias a la posibilidad de cubrir grandes áreas con un costo relativamente bajo, permitiendo también el estudio de los cambios temporales que ocurren en el medio ambiente.

Gracias a las innovaciones tecnológicas de las últimas décadas, ya es una realidad el uso de vehículos aéreos no tripulados o drones, dotados de cámaras comunes (RGB), multiespectrales, térmicas e hiperespectrales, que captan la información espectral mucho más allá de la capacidad del ojo humano, permitiendo los más diversos análisis. Existen innumerables posibilidades de uso agrícola/ambiental de las imágenes resultantes del uso de drones, como la detección de deficiencias hídricas y nutricionales en los cultivos agrícolas, incidencia de plagas y enfermedades y cambios en la fisiología de las plantas.

En el ISOPlexis – UMA han utilizado la sensorización remota para verificar la recuperación de la vegetación nativa en un área degradada con la aplicación de diferentes materias orgánicas en el suelo (compost, lodos de depuradora y biochar). Los índices de vegetación obtenidos mediante cámaras acopladas a un dron, se han relacionado con la producción de biomasa y la mejora de los parámetros de calidad del suelo en las áreas de estudio. Se determinó el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI, de sus siglas en inglés), alcanzando mayores valores en las parcelas con las enmiendas orgánicas en relación con el control, estando los efectos de la aplicación de biochar en vías de estudio.

Manual técnico

3. Prácticas de manejo para la sostenibilidad de los suelos

A través de las prácticas agrícolas convencionales (laboreo tradicional, quema de rastrojos, uso continuado de herbicidas y otros agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, fertilización inadecuada, falta de aporte de materia orgánica, monocultivo, etc.), se ha favorecido la degradación y erosión de los suelos.

Las prácticas de manejo para la sostenibilidad de los suelos buscan prevenir la degradación de los mismos y la recuperación de las propiedades físico-químicas y biológicas mediante modificaciones en las labores culturales, que garanticen una producción agrícola sostenible.

3.1. Prácticas sostenibles de manejo de cultivos

Entre las diferentes prácticas sostenibles de manejo de cultivos podemos encontrar:

3.1.1. Laboreo

El laboreo se puede definir como *“una técnica de cultivo que nos permite mantener el suelo desnudo mediante una sucesión de intervenciones mecánicas y cuyo objetivo es remover el suelo para eliminar la vegetación espontánea”*. El laboreo tiene como finalidad dejar el terreno en unas condiciones adecuadas para la siembra y el trasplante. En función de su grado de profundidad, nos podemos encontrar con tres tipos de laboreo: tradicional, mínimo laboreo o el no laboreo.

1. El laboreo convencional conlleva la inversión de las capas del suelo, mediante el uso de arados de vertedera o de discos, para enterrar la vegetación espontánea o los residuos de la cosecha anterior (labor primaria). Posteriormente se llevan a cabo otras labores secundarias que preparan las capas más superficiales para la implantación del nuevo cultivo. La profundidad de labor está entre los 30-40 cm. Sin embargo, este sistema de labranza afecta a todo el perfil del suelo, destruyendo los agregados y la estructura de este, además de acelerar la tasa de descomposición de la materia orgánica (aumenta la pérdida de carbono, disminuyendo la fertilidad, y afecta negativamente al desarrollo de la fauna del suelo). Por ello, hoy en día, para evitar ese efecto nocivo se aconseja usar otras técnicas de laboreo menos agresivas con el suelo, como son el laboreo de conservación y el no laboreo.

2. Mínimo laboreo o laboreo de conservación, consiste en alterar de forma vertical el perfil del suelo, pero sin voltearlo, mediante una labor primaria con un arado tipo “chisel”, evitando así el riesgo de erosión. Los residuos quedan incorporados a una profundidad entre 15-20 cm.

El laboreo mínimo se puede realizar de tres maneras diferentes:

- En banda: se remueven solamente los surcos de 5 a 20 cm, que será donde se colocarán las semillas, dejando el suelo entre los surcos sin remover y cubierto de residuos orgánicos. Sistema especialmente útil para los suelos fríos y húmedos, debido a que los surcos ofrecen un ambiente más cálido y con mejor drenaje a las plántulas.
- En caballones: los caballones pueden ser estrechos o anchos y los surcos pueden ser paralelos a las líneas de contorno o con una ligera pendiente (dependiendo de si el objeto es drenar el exceso de humedad o conservar la humedad). Es menos conservador que el de bandas.
- Vertical: se remueve, de forma circular, solamente el suelo alrededor del lugar donde irá la semilla, dejando sin remover el espacio entre los círculos. Este tipo de laboreo favorece el movimiento del agua en el suelo y un crecimiento de la raíz a mayor profundidad. Se recomienda para cultivos que tienen que tener un marco de siembra amplio como sandía, boniato, frutales, etc.

3. No laboreo o siembra directa, en este tipo, tras la cosecha sus rastrojos se dejan en la parcela y la siembra se realiza directamente sin necesidad de preparación mecánica o alteración de los suelos, simplemente abriendo una pequeña franja donde se depositan las semillas o plántulas. La lucha contra las malas hierbas se consigue mediante control químico o manual, cuando es necesario, y se mantiene el rastrojo para

el control de la erosión. Es útil en suelos de textura gruesa (arenas y gravas) y suelos bien drenados, porque son menos susceptibles a la compactación.

Las ventajas del mínimo laboreo y no laboreo son:

- Protege la humedad del suelo. Al disminuir la evaporación en la capa superficial y aumentar la infiltración se aumenta la humedad de la capa arable, lo que favorece la germinación y desarrollo del cultivo.
- Mejora el microclima del suelo al amortiguar el calor y la radiación del ambiente, regulando su temperatura.
- Protege la estructura del suelo.
- Previene y disminuye la erosión del suelo.
- Aumenta la materia orgánica del suelo, y por ende la fertilidad, al disminuir su tasa de descomposición.
- Mejora de la estructura del suelo por estimulación de la actividad biológica del suelo (aumenta la microfauna, ácaros, lombrices, etc.) que promueve, por ejemplo, la formación de agregados del suelo.

3.1.2. Enmiendas orgánicas

La aplicación de enmiendas orgánicas al suelo (estiércol, compost, biochar, etc.) mejora las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo que determinan su fertilidad y la diversidad y crecimiento de las diferentes organismos que viven en él (bacterias, hongos, invertebrados y plantas).

Entre las acciones más importantes de estas enmiendas en el suelo destacan:

- Incremento del agua útil en el suelo favoreciendo la germinación. La incorporación de materia orgánica al suelo favorece la formación de agregados estables que incrementa la aireación, la capacidad de infiltración y retención hídrica y porosidad del suelo.
- Prevención de los procesos erosivos.
- Fuente de nutrientes como N, P y K, que son liberados de forma progresiva (debido a su descomposición). Además, se favorece la retención de ciertos nutrientes debido a su alta capacidad de intercambio catiónico.
- Capacidad de amortiguar las variaciones del pH del suelo.
- Reserva de C y de energía para los microorganismos del suelo.
- Disminuye la incidencia de plagas y enfermedades en el suelo al favorecer el desarrollo de la flora microbiana).
- Promueve el desarrollo de raíces.

La materia orgánica usada como enmienda puede proceder de residuos vegetales o animales (que pueden ser usados directamente o tras ser transformados) o de los productos obtenidos tras su transformación (principalmente mediante procesos de compostaje, vermicompostaje y pirólisis).

- Residuos agrícolas: procedentes de restos de cosechas.
- Residuos agroalimentarios: compuesto por los restos de frutas y verduras y residuos de su procesado (ej: huesos, pieles, cáscaras de fru-

tos secos, residuos de almazara, etc.), y que se caracterizan por su elevado contenido en materia orgánica y nutrientes.

- **Residuos ganaderos:** compuestos por los residuos líquidos o sólidos procedentes del ganado (estiércoles y purines). Son ricos en compuestos orgánicos solubles.
- **Compost:** Es un producto orgánico químicamente estable y libre de patógenos con propiedades similares al humus. Posee un aspecto terroso y aroma a tierra mojada. Se obtiene a través de la descomposición de materiales orgánicos biodegradables (restos de plantas y frutas, estiércol, césped, etc.) mediante un proceso estrictamente biooxidativo (es decir, en presencia de oxígeno) y termófilo (alta temperatura) llevado a cabo por microorganismos. Se utiliza como abono del suelo o como sustrato para cultivo.
- **Vermicompost:** El vermicompost, también llamado lombricompost, compost de lombriz o humus de lombriz, es un producto orgánico obtenido a través de una técnica denominada “vermicompostaje”, la cual consiste en un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica mediante el empleo de lombrices de tierra y microorganismos. La lombriz al alimentarse de los materiales orgánicos y, en combinación con los microorganismos, los convierte en un producto estable con excelentes cualidades como fertilizante.

En experimentos realizados en el ICIA, donde se procedió a la aplicación de compost y de vermicompost, de forma directa y en forma de sustancias húmicas solubles (té de compost) al suelo, se observó una mejora tanto de las propiedades químicas (fertilidad, retención de agua) como biológicas (aumento de la comunidad microbiana) del suelo tras su aplicación.

- **Biochar o biocarbón:** producto que se obtiene de los materiales orgánicos tras un proceso de pirólisis a altas temperaturas (entre 350-800°C) en ausencia o muy baja concentración de oxígeno.

Aunque las propiedades del biochar obtenido van a depender de su material de partida, tiempo de pirólisis o temperatura alcanzada, las características comunes que posee cualquier biochar son: i) alto contenido en carbono estable, poco disponible para los microorganismos (puede permanecer en el suelo durante cientos de años sin ser degradado, ayudando a disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera); ii) bajo contenido de nitrógeno; iii) pH alcalino; iv) baja densidad, v) alta porosidad; vi) gran superficie específica. El biochar tiene una alta capacidad de adsorción que favorece la retención tanto de nutrientes como de agua en el suelo (evitando su lixiviado hacia zonas más profundas del suelo) y sirve de hábitat para los microorganismos del suelo.

En experiencias realizadas en el ICIA con biochar obtenido de hojas de palmera, se observó que la cantidad de agua útil de un suelo agrícola aumentaba tras la incorporación de biochar al mismo, y que su aplicación mejoró algunos indicadores biológicos del suelo.

Sin embargo, aunque la aplicación de biochar eleva la relación C/N del suelo, este no aporta nutrientes al mismo. Por ello, para proporcionar dichos nutrientes al suelo, se requiere la mezcla de biochar con materiales ricos en nutrientes (proceso denominado pre-carga) antes de su aplicación al suelo. En este sentido, la pre-carga se puede realizar tanto con fertilizantes sintéticos, como fertilizantes orgánicos (compost, vermicompost, estiércol, etc.) o lixiviados de diferentes procedencias (por ejemplo de vermicompostera).

Para ver el proceso de compost, vermicompost y biochar, visite: vercochar.com/documentos/ y vercochar.com/videos/

3.1.3. Abonos verdes

Los abonos verdes son cubiertas vegetales espontáneas o de semillas seleccionadas y sembradas, que se cortan y se entierran en

el mismo lugar donde han sido sembradas, antes de la floración o en floración.

Las especies elegidas como abono verde, deben cumplir unas cualidades:

- Tener ciclos cortos.
- Aportar abundante materia orgánica.
- Poseer una relación C/N adecuada.
- Ser fijadoras de nitrógeno para enriquecer el suelo (muchas son leguminosas).
- Reducir el desarrollo de adventicias.
- Poseer capacidad para formar micorrizas.

Entre las especies más utilizadas como abono verde están las leguminosas, junto con gramíneas y crucíferas.

El abonado en verde incrementa la actividad microbiana del suelo y mejora su estructura. Entre los efectos más importantes destacan:

- La mejora de las características físico-químicas del suelo: aumento de la formación de los agregados y de la porosidad, disminución de la densidad aparente, favorece la capacidad de retención de agua y de infiltración, protegen al suelo frente a la erosión, etc.
- Activan los procesos biológicos en el suelo: los productos exudados por las raíces y su acción mecánica, propician la mineralización del humus. Al descomponerse la masa radicular se favorece la aparición de humus joven.

- Enriquecen el suelo con elementos nutritivos: las leguminosas favorecen la fijación del nitrógeno, las crucíferas son capaces de recuperar el potasio de zonas profundas e incorporarlas a la zona rizosférica tras su muerte, se evita la lixiviación de elementos fertilizantes, etc.
- Algunas especies usadas como abonos verdes contienen sustancias alelopáticas (como, por ejemplo, ácidos) que pueden limitar el crecimiento de maleza, de nematodos patógenos; también pueden solubilizar elementos como hierro y fósforo haciéndolos disponibles para las raíces, etc.

Además, el uso de abonos verdes tiene también una ventaja económica ya que se eliminan los costes asociados a su transporte y gestión fuera de la finca, es más barato que otros abonos, se evitan los gastos de deshierbe, etc.

3.1.4. Cubiertas vegetales

La cubierta vegetal consiste en el recubrimiento de la superficie del suelo con material vegetal (vivo o muerto) de forma permanente. El suelo, al tener una cubierta de manera continua va a tener una serie de ventajas con respecto a los suelos desnudos, como son:

- Estar menos expuesto a la influencia directa del sol (disminuye la temperatura y la evapotranspiración del agua), del viento y del agua (disminuyendo su degradación por erosión).
- Mayor tasa de infiltración de agua, por el efecto combinado del sistema radicular y la cobertura vegetal. Esto junto a la disminución de la evapotranspiración aumenta la retención de humedad en el suelo.

Además, si la cubierta se hace con material vivo, plantas como por ejemplo avena y cebada, o manteniendo la vegetación espontánea, se va a favorecer la actividad biológica del suelo (al servir las plantas de fuente

de alimento, hábitat para los organismos del suelo, etc.) y permiten el desarrollo de organismos beneficiosos para el control de plagas, disminuyendo la necesidad de plaguicidas.

Si la cubierta vegetal implantada se realiza con especies de la familia de las leguminosas (por ejemplo, la arveja) además de los beneficios anteriores, también se promueve la fijación biológica de nitrógeno atmosférico el cual queda disponible para las raíces de las plantas.

El uso de cubiertas de material orgánico muerto (paja, pinocha, corteza de árboles, etc.) se denomina acolchado o mulch y entre sus ventajas destaca que su implementación es sencilla (no requiere de conocimientos especializados), su obtención es fácil mediante material a nivel local y, aunque la materia orgánica de un acolchado tarda más en descomponerse en comparación con aquella incorporada al suelo, produce un aumento en el contenido de materia orgánica en el mismo.

3.1.5. Rotación de cultivos

Técnica consistente en la siembra en un mismo terreno de diferentes especies, que se realiza de forma sucesiva y en una secuencia determinada. La finalidad de la rotación de cultivos es el desarrollo de sistemas de producción más diversificados que ayudan a mantener la fertilidad del suelo consiguiendo, además, reducir los procesos de degradación de suelos por erosión.

Durante la rotación se deben realizar períodos de descanso (puede durar de 1 a 2 años) para que el suelo recupere su capacidad de producción (el conocido como barbecho), aunque no siempre es necesario si se realiza una buena planificación de la rotación. Algunas recomendaciones para la elección de las especies a introducir en una rotación son: i) que sean de familias botánicas distintas: ii) con sistemas radiculares diferen-

tes para que exploren distintas zonas del perfil del suelo; iii) introducir alguna leguminosa: iv) combinar plantas exigentes en materia orgánica y que admiten la materia orgánica fresca o menos descompuesta con plantas menos exigentes y que necesitan la materia orgánica más descompuesta.

Los beneficios que se obtienen con la rotación de cultivo son, entre otros:

- Una mejor distribución de los nutrientes en el perfil del suelo ya que las raíces alcanzan diferentes profundidades.
- Ayuda a disminuir la presencia de hierbas adventicias, plagas y enfermedades (rompe sus ciclos biológicos al faltar las plantas que le sirven de hábitats), lo que se traduce en un menor uso de fitosanitarios y prevención de la problemática de contaminación de suelos.
- Al mejorar la fertilidad del suelo se incrementa el rendimiento de los cultivos, además de reducir las necesidades de fertilizantes sintéticos.

3.1.6. Barreras vivas

Siembra en hileras de vegetación, principalmente árboles y/o arbustos preferentemente adaptados a la zona y de crecimiento limitado y a distancias relativamente cercanas, con el fin de controlar la erosión del suelo. Se realiza principalmente en laderas y las plantas usadas pueden ser pastos, leguminosas arbustivas (favorece la fijación de nitrógeno), plantas medicinales y con flores (aumenta la presencia de polinizadores en la zona y el establecimiento de fauna auxiliar), etc.

Los principales beneficios de la implantación de barreras vivas son:

- Disminuyen la velocidad del agua de lluvia y retienen los sedimentos que son arrastrados, ayudando a modificar la pendiente mediante la

formación de terrazas naturales. Todo ello se traduce en una disminución de la pérdida del suelo y de la fertilidad del suelo.

- Reducen la velocidad del viento y, por tanto, los riesgos de erosión disminuyendo la evapotranspiración.
- Aumentan la diversificación de los agroecosistemas.
- Disminuyen la incidencia de plagas y por tanto el uso de insecticidas y fungicidas, pues constituyen barreras físicas para poblaciones inmigrantes de plagas, a la vez que ofrecen servicio de refugio y alimentación a poblaciones de reguladores naturales, en especial parasitoides y predadores.
- Requieren poco mantenimiento. Pero en el caso de tener que realizar podas de mantenimiento, los restos vegetales son fuente de materia orgánica que se pueden incorporar al suelo.
- Controlan el movimiento de animales y humanos, protegiendo a los cultivos del pisoteo de los animales.

3.2. Prácticas sostenibles en función del tipo de suelo

3.2.1. Suelos salinos, sódicos y salino-sódicos

La salinidad es una de las causas más importantes de estrés agrícola, limitando la producción de los cultivos en las regiones áridas y semiáridas, debido a un contenido de sal en el suelo alto y precipitaciones insuficien-

tes para su lixiviación. Más del 10% de la superficie terrestre (1.000 millones de hectáreas) se ve afectada por salinidad.

La presencia de las sales en los suelos salinos afecta a la actividad microbiana del suelo y a la asimilación de nutrientes por las plantas, con efectos negativos en su desarrollo vegetativo por disminución del crecimiento y la división celular, y en la germinación y emergencia de las plantas. En los suelos sódicos el desarrollo de las plantas se ve limitado, además, por la dispersión de las arcillas y degradación de la estructura del suelo debido al exceso de sodio.

Prácticas de manejo en suelos salinos:

La productividad en suelos salinos depende de diversos factores como las condiciones de la zona, especies cultivadas, tipo de suelo, calidad de agua de riego, comportamiento de sales existentes, técnicas de cultivo, etc.

En los suelos afectados por la salinidad, el primer paso previo a la instauración de un cultivo, es el estudio de la viabilidad de cultivar especies tolerantes a la salinidad que sean de interés. La sensibilidad de las plantas a la salinidad del suelo es muy variable y en muchos casos la exposición a condiciones salinas puede inducir a las plantas a cierto grado de tolerancia. Entre las plantas cultivadas, las de remolacha, tomate, arroz, etc. son conocidas como relativamente tolerantes a la salinidad. En cambio, leguminosas, plantas de cebolla, etc., son muy sensibles.

Sin embargo, cuando no es posible el cultivo de especies tolerantes, hay que realizar una serie de actuaciones de mejora para corregir la acumulación excesiva de sales en la zona radicular, como son:

- Lavado de sales. Como medida correctora se debe realizar un lavado de sales con agua de buena calidad mediante un sistema de riego localizado. El lavado debe efectuarse hasta que la conductividad eléctrica sea compatible con el cultivo de interés. Por tanto, la cantidad de

agua y el tiempo de lavado depende del contenido inicial de sales, del nivel de salinidad deseado, la calidad de agua aplicada y las características del suelo, entre otros. La aplicación de este lavado es más eficaz cuando el riego se realiza en los momentos de baja demanda evaporativa, por ejemplo, durante la noche cuando la humedad ambiental es elevada y la temperatura es baja o fuera de la temporada de cultivo.

Si se dispone de los recursos económicos suficientes, se recomienda instalar un sistema de drenaje enterrado para, mediante drenes o desagües subterráneos o sub-superficiales (dependiendo del nivel freático y grado de saturación del agua), dar salida al agua de lavado; evitando de esta manera, la contaminación de otras zonas de cultivo localizadas en una cota inferior.

Una vez alcanzado un grado de salinidad aceptable se deben aplicar estrategias de mantenimiento. Dado que todas las aguas de riego tienen un contenido en sales en mayor o menor medida, cuando el agua es absorbida por las plantas o se evapora, las sales disueltas en la fase líquida se van concentrando en el suelo dando lugar a la acumulación de sales. Para evitarlo, se debe aportar el agua del riego en una cantidad suficiente para poder compensar los requerimientos de agua del cultivo y la demanda evaporativa de la atmósfera, además de un excedente (fracción de lavado) para arrastrar parte de las sales acumuladas fuera de la zona radicular.

De manera orientativa se recomienda una fracción de lavado de 0,5 (incremento de un 50% la dosis de riego) en suelos salinos y un valor de 0,1 se considera insuficiente en la mayoría de los casos.

- Manejo del riego. Para prevenir la acumulación de sales en la zona radicular, sobre todo, cuando se usan aguas de poca calidad, se deben tomar una serie de precauciones en los suelos en regadío. Con el uso del riego localizado, se genera un bulbo húmedo que, junto con el propio movimiento del agua, hace que se acumulen las sales en la peri-

feria de dicho bulbo; por lo tanto, las raíces se desarrollan en el interior de esas zonas con menor concentración de sales. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, de vez en cuando, es necesario lavar las sales acumuladas al borde de los bulbos (se necesita agua de calidad y buen drenaje). Además, las lluvias pueden movilizar las sales hacia el interior del bulbo, por lo que habría que regar en ese momento.

En sistemas de riego por aspersión, es necesario el uso de agua de muy buena calidad para prevenir daños al follaje como consecuencia de la concentración de sales, especialmente cloruros y sodio, sobre la superficie de las hojas. Sin embargo, si no se dispone de agua de calidad, se pueden utilizar algunas técnicas complementarias para evitar el daño foliar, como pueden ser riegos nocturnos, uso de aspersores pequeños y de rotación rápida, movimientos de las tuberías siguiendo la dirección del viento y el uso de aspersores con un ángulo de aspersión pequeño.

Es por ello que para evitar problemas de salinidad la elección del sistema de riego es crucial.

Otras prácticas culturales que se recomiendan realizar en suelos salinos o con riesgo de salinización son:

- Nivelación. Para favorecer un buen lavado es necesario que el suelo tenga un buen nivel de infiltración, para ello, una buena nivelación contribuye a una mejor distribución de la lámina de agua, a la disminución de las pérdidas y a eliminar la acumulación de sales en parches como resultado de la distribución irregular de las mismas.
- En la preparación del suelo, se debe conseguir que el movimiento del agua sea uniforme, tanto en profundidad como en superficie, facilitar el drenaje y el desagüe, labores que eliminen la suela de labor y actúen sobre los límites abruptos entre horizontes. Para ello, se puede realizar una labor profunda con subsolador que mejore la

velocidad de infiltración del agua, permita una mejor penetración de las raíces, mejore la aireación y facilite el control de la salinidad. Estas prácticas son más efectivas cuando el suelo está en tempero puesto que se obtiene una mayor rotura de las capas endurecidas o densas.

- El laboreo mínimo, al fomentar la mejora de la estructura del suelo, reduciendo el tráfico de maquinaria, se evita la compactación del suelo aumentando el drenaje, la penetración del agua, la aireación y el desarrollo de las raíces, al tiempo que se pueden realizar eficientemente las prácticas de control de salinidad.
- La adición de materia orgánica favorece diversas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Entre otras, el aumento de la materia orgánica en los suelos mejora la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y facilita su movimiento a través del perfil. En suelos salinos este efecto adquiere una importancia fundamental para mejorar el lavado.

Hay que tener en cuenta la salinidad de las enmiendas orgánicas añadidas, evitando aquellas con altas concentraciones de sales y/o ajustando la dosis aplicada.

- Cuidados en la germinación y trasplante: en estos primeros estadios de crecimiento, la planta es más sensible a los daños causados por la salinidad. Es en este período, cuando las prácticas de manejo de la salinidad deben ser más eficientes para evitar la acumulación de las sales en el perfil radicular. Así, en el período germinativo se puede optar por un riego que permita el lavado de las sales en los primeros centímetros del suelo donde se localizan las semillas. También pueden adoptarse mayor número de semillas del habitual contrarrestando la reducción del porcentaje de germinación por efecto de las sales.

Además de todo lo anterior, también se recomienda:

- Fertilizar los cultivos en base a análisis preliminares del suelo y agua.
- El monitoreo de la CE del suelo cada ciclo de cultivo.
- Un buen sistema de drenaje del suelo.
- El control y monitoreo de fuentes de agua para asegurar y prevenir la salinidad de los suelos.
- Tener en cuenta la tolerancia de cada especie vegetal antes de empezar su cultivo.

Prácticas de manejo de suelos sódicos:

En estos suelos donde predomina el ion sodio, es necesario reemplazar dicho sodio intercambiable por calcio para conseguir una mayor estabilidad del suelo. Para ello, se incorporan enmiendas ricas en calcio como yeso, carbonato cálcico, calcita, nitrato de calcio, cloruro de calcio, etc. Sin embargo, si el suelo es rico en cal (carbonato cálcico) se puede aplicar ácido sulfúrico o azufre elemental en grano fino para disolver la cal, aumentando la concentración de calcio disponible en la disolución del suelo. También la aplicación de materia orgánica, al aumentar la concentración de CO₂ (por la activación de la actividad microbiana) y reducir algo el pH, incrementa la solubilidad de la caliza, lo que reduce los riesgos de sodicidad.

En suelos sódicos es necesario tener precauciones con la aplicación de materia orgánica, pues bajo ciertas condiciones la producción de ácidos húmicos o fúlvicos (humificación) puede dar origen a la formación de complejos con el sodio que pueden contribuir a la dispersión de arcillas como la montmorillonita.

Una vez tratado con la enmienda de calcio, los suelos deben ser regados con agua de buena calidad y disponer de desagües a través de los cuales recoger el sodio lavado. La granulometría del yeso influye en la cantidad de agua necesaria para su disolución. Cuanto más fino es el yeso, se requiere menos agua para disolverlo, pero es más caro y tiene dificultades en su aplicación por la acción del viento.

Además, si las aguas de lavado tienen alto contenido en bicarbonatos, puede precipitar el calcio y aumentar el riesgo de sodificación. Para evaluar el riesgo de precipitación de carbonato cálcico se puede aplicar el índice de Langelier y la directiva de calidad de agua de riego propuesta por Ayers y Wescott (1985).

Prácticas de manejo en suelos salinos-sódicos

En estos suelos se producen dos efectos contrapuestos, la salinidad favorece la floculación o estructuración, mientras que la sodicidad favorece la dispersión o destrucción de la estructura. Para mejorar estos suelos es conveniente mantener niveles altos de salinidad tolerados por el cultivo (que ayudan a mantener la estructura) para que la conductividad hidráulica sea alta durante el proceso de mejora con una enmienda cálcica, al ir sustituyendo el sodio por el calcio.

3.2.2. Suelos áridos

Las zonas áridas se caracterizan por una baja y errática precipitación que se refleja en niveles de producción agrícolas relativamente bajos y ampliamente impredecibles. Normalmente las tierras áridas reciben menos de 200 mm anuales de lluvia en invierno o menos de 400 mm de lluvias en verano (dependiendo de la temporada de lluvias). Sin embargo, la característica principal de su sequedad radica no tanto en la precipitación sino en el balance negativo entre la precipitación y la evapotranspiración. Así

porque, las tierras áridas las podríamos definir como áreas donde la precipitación media anual es menor que la mitad de la evapotranspiración potencial. El balance negativo entre la precipitación y la evapotranspiración da como resultado un período corto de crecimiento de los cultivos, que es el criterio que ha elegido la FAO (días de crecimiento) para definir las tierras áridas como áreas con un período de crecimiento menor de 120 días.

Entre el 40 y el 50% de las tierras a nivel mundial pueden catalogarse como tierras áridas y algunas áreas de Canarias pueden considerarse como áridas. En general los suelos de zonas áridas, suelen tener problemas de salinización, una estructura muy débil y un nivel bajo de materia orgánica, por lo que las prácticas agrícolas que favorezcan la mejora de la estructura del suelo, su capacidad de infiltración, la capacidad de retención de agua, y eviten la evaporación y escurrimiento ayudan a mejorar su calidad. Entre dichas prácticas, podemos citar el aporte de materia orgánica (estiércol, restos de cultivos, compost, biochar, abonos verde,...) el uso del acolchado, el laboreo mínimo, evitar la compactación del suelo, el uso de barreras vegetales, y el manejo eficiente del riego.

De manera tradicional, los agricultores en Canarias han utilizado diferentes métodos de cultivo y captación de agua, para amortiguar los efectos de la escasez de lluvia, para llevar a término los cultivos y obtener buenas cosechas, que de otra manera no hubiera sido posible. Así, podemos destacar los casos de las gavias, los arenados y los nateros.

Gavias

Aún en uso en Fuerteventura y muy poco en Lanzarote donde se les denominaban también con el nombre de bebederos. La gavia es un terreno agrícola circundado por un caballón de tierra, llamado "trastón". Se suelen construir en zonas poco abruptas o casi llanas, con unas dimensiones que se suele situar en torno a los 3.000 m, aunque hay algunas de varias hectáreas y otras de tan sólo cientos de metros. El agua de escurrimiento

se conduce hacia estos terrenos con el objeto de propiciar su lenta infiltración, lo que se denomina “beber la gavia” y obtener un nivel de humedad que permita su cultivo una vez arado. El tiempo de infiltración del agua en el suelo depende, de la textura del terreno y normalmente tarda de tres a cuatro días, aunque en suelos muy arcillosos el proceso puede durar hasta más de diez días.

Además del trastón, son elementos estructurantes de las gavias los siguientes: la torna, rebaje en el trastón por el cual el agua penetra en la gavia; la tronera, desagüe situado en el lado opuesto a la torna, por la cual la gavia envía el agua sobrante al barranquillo, o bien, a otra gavia; el caño, canal que conduce el agua hasta la gavia; y las compuertas, presentes en algunos caños de cierta importancia para el control del flujo del agua. Las gavias han constituido un gran recurso para la obtención de alimento en islas como Fuerteventura, plan-tándose principalmente cereales.

Los tipos de gavias que podemos encontrar, se clasifican en función de:

- Su situación:
 - De fondo de barranco, donde pueden ocupar todo el lecho o situadas en el margen. Se sitúan en el fondo de un cauce, bien a todo lo ancho o bien en un margen del mismo. Se llenan mediante el desvío de las aguas que circulan por el cauce.
 - De ladera: se sitúan en una ladera de suave pendiente. Se alimentan recogiendo el agua de una zona de captación de agua de lluvia y también mediante caños.
- Su complejidad:
 - De alcogida: reciben el agua de una zona de captación de agua de lluvia.

- De derivación: reciben el agua que se desvía de un cauce.
- Mixtas: combinación de las dos anteriores.

Nateros

Son un sistema de cultivo adaptado a un medio donde se combina la aridez con la ausencia de suelos cultivables, como por ejemplo, las zonas montañosas y áridas de Canarias.

El natero consiste en cerrar, mediante muros de piedra seca, los pequeños barrancos de Canarias. De esta manera, se interceptan las aguas cargadas con sedimentos que descienden por estos cauces. Cuando las aguas quedan remansadas tras los muros de piedra seca, depositan los sedimentos que arrastran, de tal forma que se crea un terreno de cultivo, especialmente fértil por la riqueza en materia orgánica y nutrientes, allí donde antes no existía suelo útil. El cerramiento se irá acrecentando según pasen los años, hasta obtener una parcela con la profundidad de tierra óptima para el crecimiento de la vegetación (principalmente higueras y almendros). Las dimensiones van desde la decena de metros a no más de 500 m², siendo lo usual que no superen los 50 m².

En ocasiones, se pueden encontrar en algunos nateros, muros que permiten desviar la escorrentía, protegiendo los terrenos en caso de lluvias copiosas.

Los nateros deben situarse sobre barrancos secundarios (nunca sobre el cauce principal), puesto que al cortar totalmente el cauce no resistiría grandes caudales de escorrentía.

Arenados

Principal sistema tradicional de cultivo que sigue activo en Lanzarote. Permite el crecimiento de cultivos tan diversos como frutales, hortalizas,

legumbres, viñedos, etc. El arenado consiste en el mantenimiento de una capa de materiales piroclásticos sobre el suelo (localmente denominados arena o rofe, según su tamaño) cuyo origen puede ser natural (se sitúan cerca de los conos de emisión) o artificial (es el hombre quien aporta la capa de materiales, siendo este último el que tiene un mayor predominio por toda la Isla. En el caso de los arenados artificiales, el suelo puede ser el original de la zona o bien ser transportado de una vega con suelos fértiles. Dicha cobertura favorece el proceso de infiltración de agua en el suelo, evita las pérdidas de agua y suelo por escorrentías, reduce la evaporación, disminuye la salinidad del suelo (al evitar la movilización de las sales) y aumenta su contenido en humedad y agua disponible para las plantas.

En un arenado, se debe tener precaución a la hora de realizar las labores de cultivo para evitar mezclar la capa de arena con el suelo (si no es así, los beneficios que aportaría la arena quedarían atenuados).

3.2.3. Suelos en pendiente

Los suelos en pendientes, son suelos que están expuestos en un mayor grado a la erosión (ya sea eólica o hídrica), la cual se puede ver acentuada tanto por factores naturales (tipo de suelo, inclinación de la pendiente, cobertura, etc.) como por prácticas agronómicas (manejo del suelo y métodos de cultivo principalmente). La erosión de estos terrenos, conlleva a la pérdida de suelo cuyas consecuencias más graves son, entre otras, la formación de surcos y cárcavas. Su presencia en las fincas agrícolas es un grave problema, ya que dificulta o limita el acceso a las fincas y su manejo agronómico, además de dejar las raíces de los árboles expuestas (pudiendo ser dañadas por el paso de maquinaria o incluso favorecer la caída de los mismos).

Para evitar esta degradación y consiguiente pérdida de suelo y de su fertilidad, existen diferentes mecanismos que actúan acortando la longitud

de la pendiente. Mediante estos sistemas, se consigue disminuir la velocidad del flujo de agua favoreciendo su infiltración, se evita el arrastre de las partículas del suelo y se favorece la sedimentación de las partículas de suelo que hayan sido arrastradas por la escorrentía. Esos mecanismos son:

- Laboreo paralelo a las curvas de nivel: el laboreo y siembra se realiza siguiendo las curvas de nivel (de forma perpendicular a la pendiente). Si la pendiente es muy acusada, se necesita combinar este laboreo junto a la construcción de terrazas, de zanjas y/o uso de barreras vivas.
- Laboreo mínimo o siembra directa: al no realizar ninguna actividad de laboreo se evita dejar el suelo desnudo y con ello se disminuye el riesgo de erosión.
- Construcción de muros. Este método se basa en el amontonamiento de piedras (muros de piedra) o en construcciones de terraplenes (muros de tierra) a lo largo de las curvas de nivel. Tipos:
 - Terrazas o bancales. Son ampliamente utilizados en todo el mundo y, en Canarias, están muy presentes en todas las islas (en menor medida en Lanzarote y Fuerteventura), aunque muchas están abandonadas. Son muy eficaces para la conservación del suelo y el agua a través del control de la escorrentía y la erosión (cuanto menor es la separación entre las terrazas menor será la erosión) y proporcionan importantes servicios ecosistémicos, además de paisajísticos y culturales. Las terrazas, además, reducen la pérdida de nutrientes y semillas y permiten el aprovechamiento de tierras con mucha pendiente, manteniendo la productividad, tanto en términos de rendimiento de los cultivos agrícolas como de la fertilidad del suelo.
 - Gavión. Caja de malla metálica, de forma rectangular, rellena de piedras que reducen el empuje horizontal debido a tierra, agua

y vientos. Se usan para estabilizar y contener deslizamientos de mayor magnitud.

- Barreras vegetales: deben ser implantadas perpendiculares a la pendiente. Se usan en terrenos con mucha pendiente y conducen a un aterrazamiento progresivo al depositarse la tierra que es arrastrada, por el viento o el agua, en la barrera.
- Revegetación de taludes: consistente en la siembra directa de especies vegetales que poseen un gran desarrollo radicular, con el fin de mantener unidas las partículas del suelo y evitar que estas puedan ser arrastradas.
- Zanjas de infiltración. Las zanjas son canales que se construyen siguiendo las curvas de nivel para favorecer la retención e infiltración del agua proveniente de las partes más altas del terreno. Mediante este sistema se consigue proteger a los taludes de la erosión además de favorecer el establecimiento de barreras vivas que ayudan a la estabilización de dichos taludes.
- Control de la erosión de las cárcavas: mediante la construcción de muros (para estabilizar la cárcava y evitar que siga creciendo), uso de cubiertas vegetales (para estabilizar la pendiente y disminuir la escorrentía), uso de barreras permeables (para que el agua circule más lentamente por el centro de la cárcava).

Revisión bibliográfica

Agencia de Recursos Verdes del Japón (J-Green). 2004. MANUAL DE TÉCNICAS. Estrategia de Intervención: “Desarrollo Rural Sostenible, basado en la conservación de suelos y aguas”. Sucre (Bolivia).

Arco-Lázaro, E., Raya, V., Haroun, J.A., González, M. y Álvarez, C. 2021. Efecto de la aplicación de biochar en suelo sobre cultivo de lechuga. Congreso SECH, Córdoba 17-21 de octubre de 2021.

Ayers, R. S., y Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ayers, R. y D. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Roma. Estudio FAO Riego y Drenaje 29. 174 p.

Badia Villas. D. 1992. Suelos afectados por sales. Butll. Soc. Ct. Cien., Vol. SIII: 609-629.

Batistella, M. Moran, E.F. 2008. Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina. São Paulo, SP: SENAC. 283 p.

Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R. F., Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).

Benites Jump, J.R. 2014. Evaluación Visual de Suelos (EVS). Una Guía de Campo. *Revista de Agricultura*, Nro. 53 – Abril 2014.

Bernal, M.P., Alburqueque, J.A., Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100, 5444-5453.

Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpien, J., Parke, J., Makinof, T., Kirkham, M.B., Scheckel, K. 2014. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize?. *Journal of Hazardous Materials*, 266, 141– 166.

Bracamontes Nájera, L.; Fuentes Ponce, M. Rodríguez Sánchez, L. M. Macedas Jiménez, J. 2018. Manejo de indicadores biológicos de la salud del suelo. Unidad Autónoma Metropolitana.

Carlesi, S., Barberi, P. 2017. Las malas hierbas como bioindicadores del suelo: Cómo muestrear y usar los datos. 9 p.

Chhabra, D. 1996. Soil salinity and water quality. Brookfield, USA A. A. Balkema Publishers. 284 p.

Doran, D. C. 1999. Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo. EUA: USDA. 88 p.

Doran, J. W., Zeiss, M. R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied soil ecology*, 15(1), 3-11.

FAO 2017. Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.

FAO, M. 2018. Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Bogotá DC, Colombia. 144 p.

García-Jaramillo, M., Trippe, K. M., Helmus, R., Knicker, H. E., Cox, L., Hermosín, M. C., Parsons, J.R., Kalbitz, K. 2020. An examination

of the role of biochar and biochar water-extractable substances on the sorption of ionizable herbicides in rice paddy soils. *Science of the Total Environment*, 706, 135682.

Guanche García, A. 2015. Las lombrices y la agricultura. AgroCabildo cabildo de Tenerife. Información Técnica, 14 p.

<http://edafologia.ugr.es/>

<http://tramce.com/2021/04/07/guia-final-del-proyecto/>

<http://www.climagri.eu/index.php/es/rotacion-de-cultivos>

<http://www.rinconesdelatlantico.com/num2/lanzarote2.html>

<http://www.soilmontana.com/wp-content/uploads/2012/11/FI-CHAS-CARPETA-OK-traz.pdf>

<https://docplayer.es/15622074-Memoria-final-proyecto-capacidad-agricola-de-los-suelos-de-la-reserva-de-biosfera-de-lanzarote-y-elaboracion-de-una-base-de-datos.html>

<https://docplayer.es/50270594-Muestreo-de-suelo-para-evaluar-fertilidad.html>

<https://guadianalisis.es/toma-de-muestras-de-suelo/>

<https://synergynuts.upct.es/labores-mecanizacion/laboreo-suelo/>

<https://tecnicrop.com/blog/prevencion-y-recuperacion-de-suelos-salinos>

https://www.agr.una.py/descargas/triptico_muestra_de_suelo_2011.pdf

<https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/GCSP/GCSL3DegQim.htm>

<https://www.fao.org/3/i6473s/i6473s.pdf>

<https://www.fao.org/common-pages/search/es/?q=definici%C3%B3n%20tier-ras%20aridas>

<https://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/en/>

<https://www.grab.fr/wp-content/uploads/2020/02/Fiche-ferti-maraich.pdf>

<https://www.lanzarotebiosfera.org>

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., Schuman, G. E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.

Labrador J., Porcuna J. L., Jaizme-Vega. 2020. Vivificar el suelo. Conocimientos y prácticas agroecológicas. 455 p.

Labrador Moreno, J. 2020. El papel de la vida en el suelo, en la generación, protección y estabilización de la materia orgánica. En: Vivificar el suelo. Conocimientos y prácticas agroecológicas. Ed. Juana Labrador, Jose Luis Porcuna y María C. Jaizme-Vega. Tenerife- Islas Canarias. 455 p.

Labrador, J. 2008. Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica. SEAE-Sociedad Española de Agricultura Ecológica. 47 p.

Labrador, J. 2012. Avances en el conocimiento de la dinámica de la materia orgánica dentro de un contexto agroecológico. *Agroecología*, 7, 91-108.

Laich, F. 2020. Comunidades microbianas rizosféricas: interacciones y funcionalidades. En: Vivificar el suelo. Conocimientos y prácticas agroecológicas. Ed. Juana Labrador, Jose Luis Porcuna y María C. Jaizme-Vega. Tenerife- Islas Canarias. 455 p.

López Ritas, J., López Mélida, J. (1990). El diagnóstico de suelos y plantas (métodos de campo y laboratorio). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 363 p.

Luters, A.; Salazar, J. C. 2000. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. EUA: USDA.

Moreno Ramón, H.; Gisbert Blanquer, J.M.; Ibañez Asensio, S. 2010. La estructura del suelo. <http://hdl.handle.net/10251/8010>

Novo, E. M. L. M. 2010. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. 4. ed. São Paulo, SP: Blucher, 387 p.

O'Geen, A. 2018. Consejos sobre la sequía: Recuperar los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos. Agricultura y Recursos Naturales. Universidad de California. ANR Publicación 8629.

Peña Hernández, M. 2005. Breve aproximación a los sistemas agrícolas de Lanzarote. *Rincones del Atlántico* (2), 220-227.

Perdomo Molina, A. 2002. El sistema de cultivo en gavias en Fuerteventura (Islas Canarias, España). La gestión del agua en un espacio árido. En: J. Palerm Viqueira (Ed.). Antología sobre pequeño riego. Vol. III: Sistemas de riego no convencionales. Colegio Postgraduados de México. p. 161-165.

Perdomo Molina, A. 2005. Los sistemas de recolección de aguas de Canarias y el Sudeste Peninsular: semejantes soluciones a problemas comunes. Conferencia. XII Jornadas de estudios sobre Lanzarote y Fuerteventura. Arrecife de Lanzarote.

Perdomo Molina, A., Dupuis, I. 2004. Los nateros: un sistema de recolección de agua adaptado a las zonas áridas y montañosas de Canarias. *Tenique: Revista de Cultura Popular Canaria*, 6, 235-251.

Porta Casanella, J., López-Acevedo, M. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. 541 p.

Porta Casanella, J., López-Acevedo, M., Poch, R. M. 2019. Edafología: uso y protección de suelos. Ed. Mundi-Prensa Libros. 624 p.

Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., Roquero de Laburu, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente 3ª edición. 929 p.

Raudes, M., Sagastume, N. 2009. Manual de Conservación de Suelos. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 75 p.

Red Española de Compostaje. *Residuos agrícolas*; Ediciones Paraninfo: Madrid, Spain, 2014. 255 p.

Red Española de Compostaje. *Residuos agroalimentarios*; Ediciones Paraninfo: Madrid, Spain, 2014. 344 p.

Reyes Pablos, J.L, Labrador Moreno, J., Porcuna Coto, J.L. 2004. Conocimientos, técnicas y productos para la agricultura y la ganadería ecológica. Juana Labrador Moreno: Sociedad Española de Agricultura Ecológica/Agroecología (ed.). ISBN 84-609-1283-3.

Sánchez Garrido, J.A. 1998. Análisis de suelo. Metodología e interpretación. Ed. Universidad de Almería. 184 p.

Shepherd, T. G., Stagnari, F., Pisante, M. and Benites, J. 2008. Visual Soil Assessment – Field guide for annual crops. FAO, Rome, Italy.

Soilmontana. Tarjetas de salud de los agroecosistemas: conservación de la biodiversidad edáfica y vegetal en áreas pascícolas, montañas y de fondo de valle. http://www.soilmontana.com/?page_id=65

Stocking, M. Murnaghan, N. 2003. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Ed. Mundi-Prensa. 173 p.

Valente, S. Freitas, G. Gouveia, C. Macedo, F. Nóbrega, H., Pinto, L. Rosa, J. Carvalho, M. A. 2022. Monitoring of the action of Organic Compost in Amendment of Degraded Soil in Madeira Island. Sustainable and Precision Agriculture Symposium. Tenerife. Canary Islands 2022.

Valente, S. Freitas, G. Gouveia, C. Macedo, F. Nóbrega, H., Pinto, L. Rosa, J. Carvalho, M. A. 2022. The use of Sewage Sludge in the Soil Amendment: preliminary study in Madeira Island. Sustainable and Precision Agriculture Symposium. Tenerife. Canary Islands 2022.

Vargas Rojas, R. 2009. Guía para la descripción de suelos.

Yang, D. I. N. G., Yunguo, L. I. U., Shaobo, L. I. U., Huang, X., Zhongwu, L. I., Xiaofei, T. A. N., Guangming, Lu, Z. H. O. U. 2017. Potential benefits of biochar in agricultural soils: a review. *Pedosphere*, 27(4), 645-661.